

Grado en Ingeniería Mecánica.
(2018-2019)

Trabajo Fin de Grado

Análisis de impacto de mantenimiento predictivo en equipos de transporte vertical y sus contribuciones a una “Ciudad Inteligente”

Alejandro Delgado Mayorga

Tutor: Jorge Manuel Garrido Rubio

Leganés, Julio 2019

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	3
ABSTRACT.....	4
RESUMEN.....	5
1. INTRODUCCIÓN.....	6
2. INDUSTRIA 4.0.....	8
2.1. INTRODUCCIÓN A LA INDUSTRIA 4.0.....	8
2.2. COMPONENTES TÉCNICOS DE LA INDUSTRIA 4.0.....	8
2.3. PRINCIPIOS DE LA INDUSTRIA 4.0.....	9
3. CIUDADES INTELIGENTES.....	10
3.1. ¿QUÉ ES UNA CIUDAD INTELIGENTE?.....	10
3.1.1. La infraestructura física:	12
3.1.2. Ecosistemas innovadores en ciudades inteligentes.	15
3.1.3. Calidad de vida en las ciudades inteligentes.....	16
3.1.4. Estimación de la inteligencia de una ciudad inteligente.....	18
3.2. PROGRAMAS DE APOYO A LAS CIUDADES INTELIGENTES	21
3.3. RANKING CIUDADES INTELIGENTES.	33
3.4. PRINCIPALES BARRERAS EN LA TRANSICIÓN A UNA CIUDAD INTELIGENTE.....	36
3.5. ECONOMÍA CIRCULAR Y CIUDADES INTELIGENTES.....	39
3.6. EDIFICIOS INTELIGENTES.	44
3.6.1. DEFINICIÓN DE EDIFICIO INTELIGENTE.....	44
4. MOVILIDAD Y MEDIOS DE TRANSPORTE EN CIUDADES INTELIGENTES.	56
4.1 INTRODUCCIÓN A LA MOVILIDAD Y MEDIOS DE TRANSPORTE. ..	56

4.2. SISTEMAS DE TRANSPORTE INTELIGENTE	57
4.2. SISTEMAS DE TRANSPORTE INTELIGENTE Y EL DESARROLLO SOSTENIBLE	59
4.3. SISTEMAS DE TRANSPORTE INTELIGENTE VERTICALES	60
5. MANTENIMIENTO PREDICTIVO.....	64
5.1 INTRODUCCION AL MANTENIMIENTO DE SISTEMAS.....	64
5.2. MÉTODOS DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO.....	65
5.2.1. MANTENIMIENTO REACTIVO.	65
5.2.2. MANTENIMIENTO PROACTIVO.....	66
5.2.4. TECNOLOGÍAS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO APLICADAS A SISTEMAS DE TRANSPORTE VERTICAL.	69
5.3. MANTENIMIENTO PREDICTIVO APLICADO A UN ASCENSOR.	79
5.3.1 VENTAJAS	79
6. IMPACTO DE LA APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN UN EDIFICIO INTELIGENTE.	87
6.1. DETERMINACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DEL GRADO DE INTELIGENCIA DE UN EDIFICIO.	88
6.2. IMPACTO DE UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO APLICADO A UN ASCENSOR EN UN EDIFICIO INTELIGENTE.	95
6.4. POTENCIAL DE APLICACIÓN DEL SISTEMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN ASCENSORES.	98
6.5. EJEMPLO DE PROYECTO REAL CON POTENCIAL DE APLICACIÓN DEL SISTEMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO A GRAN ESCALA.	101
7. CONCLUSIONES.....	105
BIBLIOGRAFÍA:	107

AGRADECIMIENTOS.

Quiero agradecer en primer lugar a mis padres por darme todo lo que necesité, por todos los esfuerzos que han realizado durante este tiempo para que pudiera estudiar esta carrera y por su apoyo incondicional en los malos momentos que ha habido a lo largo de estos años. Sin la educación y valores que me han inculcado desde pequeño no habría sido posible.

A mis compañeros de universidad con los que he compartido toda clase de momentos y horas de estudio y que son sin duda una de las mejores cosas que me llevo de mi experiencia en la universidad.

A mi pareja, que estuvo desde el comienzo hasta el final a mi lado de manera incondicional ayudándome en todo lo que necesité, compartiendo mis alegrías en los buenos momentos y animándome y sacándome una sonrisa en los momentos más difíciles.

Por último, quiero agradecer a mi tutor Jorge Manuel por darme la oportunidad de realizar este proyecto y ayudarme durante estos meses, entendiendo y siendo comprensivo con mis circunstancias actuales.

ABSTRACT.

Due to the huge increase of the world population over the last few decades and its concentration in the main cities, there has been a noticeable increase of pollution, agglomeration in these cities and consumption of fossil-derived energies. Therefore, the necessity of developing new technologies that allow managing the current resources and city services in a more efficient way to ensure the wellbeing of citizens has also been increased. For that purpose, communication and information technologies (ICT), Internet of things (IoT) and Big Data have played a very important role over the last few years in helping the implantation of new projects in different cities to enable a stable transition between the conventional cities towards more intelligent, efficient and safer cities called Smart Cities. A Smart City is mainly characterized by the implantation of six different factors: 1) Smart Economy, 2) Smart Mobility, 3) Smart Governance, 4) Smart People, 5) Smart Living and 6) Smart Environment. According to different studies, the factors that have reported the highest number of investments are Smart Mobility and Smart Living, whose objectives are improving the transport and mobility efficiency inside the city and improve energy consumption as well as increase the comfort overall for all the citizens. On the other hand, inside of any city we can find many vertical transportation systems. Taking into account the overall tendency of everything around us to turn into “intelligent” taking advantage of the new technologies, ICT and big data, elevators don’t lie behind, meaning that they can also become intelligent parts of a Smart City. Thus, the main goal of this project is to study the overall impact and improvement of a vertical transportation system that contains a predictive maintenance system based on ICT compared to a conventional vertical transportation system. In order to study this impact and its benefits, we will research the influence of using this system inside of a Smart Building and at the same time in a Smart City, knowing its benefits and opportunities that this system can have in future applications.

Keywords: *Smart Cities, Predictive maintenance, Smart Buildings, Smart Mobility, Vertical transportation system, ICT, IoT.*

RESUMEN.

Debido al gran aumento de la población mundial en los últimos años y su concentración en grandes núcleos urbanos, la contaminación, las aglomeraciones en las grandes ciudades y el consumo de energías fósiles, cada vez es más necesario desarrollar nuevas tecnologías que permitan gestionar los recursos y servicios de estas urbes de forma más eficiente para garantizar el confort de los ciudadanos. Para ello, las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), el internet de las cosas (IoT) y el uso del Big Data han jugado un papel muy importante en los últimos años, ayudando a la creación de nuevos proyectos en ciudades y siendo los principales elementos para lograr una transición de núcleos urbanos convencionales a ciudades más eficientes y seguras denominadas “Ciudades Inteligentes”. Una “Ciudad Inteligente” se caracteriza por desarrollar seis factores principales: 1) calidad de vida (Vida Inteligente), 2) competitividad (Economía Inteligente), 3) capital social y humano (Población Inteligente), 4) servicios públicos, sociales y participación ciudadana (Gobierno Inteligente), 5) infraestructura de comunicación y transporte (Movilidad Inteligente) y 6) recursos naturales (Entorno Inteligente). Según varios estudios, los factores que más inversión están absorbiendo en las actuales ciudades inteligentes se centran en la “Movilidad Inteligente” y “Vida Inteligente”, cuyos objetivos son principalmente la eficiencia en la movilidad dentro de la urbe, la eficiencia en el consumo de la energía y el confort en la vivienda. Dentro de cualquier ciudad encontramos miles de sistemas de transporte vertical. Si tenemos en cuenta la tendencia de todo lo que nos rodea a convertirse “inteligente”, los ascensores no se quedan atrás. Por ello, en este proyecto vamos a estudiar cómo impacta y mejora un sistema de transporte vertical con un sistema de mantenimiento predictivo instalado basado en las TIC respecto a un sistema de transporte vertical convencional. Para conocer este impacto y beneficios, estudiaremos cómo influye la utilización de este sistema en el concepto de “Edificio Inteligente” y en una “Ciudad Inteligente” conociendo sus beneficios y oportunidades de aplicación en el marco actual.

1. INTRODUCCIÓN.

La población mundial no para de crecer, desde 1950 hasta finales del siglo XX la población creció de 2.5 a 6.1 billones de personas. Sin embargo, este crecimiento no ha sido uniforme, siendo extremadamente más acentuado en los países poco desarrollados [1]. En 2010, las Naciones Unidas preveían un crecimiento global desde los 6.9 billones de personas en ese mismo año hasta un rango de entre 8.8 y 9.9 billones de personas a mediados de este siglo. En 2100, se estima una población de unos 10 billones de personas según las Naciones Unidas.

Por otra parte, se estima que actualmente, el 55% de la población se concentra en núcleos urbanos. Según el mismo estudio, en 2050 el 68% de la población vivirá en las ciudades como consecuencia de la inmigración y del desplazamiento desde las zonas rurales a zonas urbanas [2].

A pesar de las ventajas que este aumento demográfico puede conllevar, como un crecimiento económico y un desarrollo social y cultural, surgen numerosos problemas relacionados con el aumento del consumo de energía, producción de residuos y emisión de gases contaminantes que impactan directamente en la sostenibilidad de estos núcleos urbanos, por lo que es necesario lograr un equilibrio espacial, social y ambiental en las ciudades para garantizar la calidad de vida de sus habitantes [3].

Por lo tanto, a medida que las ciudades aumentan su demografía, es importante el desarrollo de mecanismos que garanticen un funcionamiento efectivo, armónico y sostenible.

La evolución tecnológica que hemos alcanzado en el último siglo nos permite poder planificar las ciudades del presente y del futuro con el conjunto de sistemas y elementos que conforman las denominadas “Ciudades Inteligentes”. Con este término nos referimos al espacio donde se aplican las tecnologías de la información y de la comunicación (TIC), los fundamentos y ejes del urbanismo verde (diseño arquitectónico y construcción), con la finalidad de proveer un núcleo urbano con una infraestructura que garantice un desarrollo sostenible, una alta calidad de vida para sus ciudadanos y participación en la urbe, además de una mayor eficiencia de los recursos disponibles [4].

Resumiendo, consideramos una ciudad inteligente cuando aprovechando las posibilidades del urbanismo verde y las redes de telecomunicaciones e informática como el internet de las cosas (IoT), ofrece a sus ciudadanos una variedad de servicios digitales y ambientales con el objetivo de enriquecer el nivel de desarrollo humano, económico y cultural de los ciudadanos de la urbe.

El concepto de ciudad inteligente se comienza a utilizar en el siglo XX como propuesta de solución de diversos problemas que presentan grandes núcleos urbanos de ese tiempo. Con el paso del tiempo, este concepto ha ido evolucionando como consecuencia del desarrollo tecnológico que ha sufrido la sociedad, especialmente con el desarrollo de las telecomunicaciones y la aparición del teléfono, considerando la ciudad inteligente como un paso más en el desarrollo social.

El pilar fundamental sobre el que se sustenta una ciudad inteligente son las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) y el denominado “Internet de las cosas” que permiten su gestión. En este aspecto, el factor más importante sin duda es el desarrollo de internet desde su creación en 1983 hasta la actualidad, que ha dado la posibilidad de obtener eficientes y rápidos sistemas de comunicación e intercambio de información, así como la exponencial evolución en el desarrollo de aplicaciones, plataformas e interfaces que permiten interacciones sencillas para los usuarios.

A medida que crece la población urbana y la densidad en las ciudades, se requieren sistemas y medios de transporte más fiables y seguros. Gestionar el tiempo de los habitantes de la forma más eficiente es un desafío cuando se trata con maquinaria y sistemas complejos que requieren mantenimientos y sufren averías o paradas inesperadas. Es aquí, donde entran en juego los sistemas de mantenimiento predictivo.

El mantenimiento predictivo es un sistema y filosofía que se basa en analizar el estado de un sistema estudiando datos recogidos y almacenados por medio de monitorizaciones relacionando el desgaste de un equipo con su rendimiento. Se reduce el número de paradas no programadas debidas a fallo de máquina y mejora la disponibilidad global del sistema además de aumentar la productividad y reducir el costo para las empresas evitando la necesidad de reemplazo de las piezas y la necesidad de mantener un stock [5].

2. INDUSTRIA 4.0

2.1. INTRODUCCIÓN A LA INDUSTRIA 4.0.

La producción industrial ha estado cambiando desde su comienzo. En ocasiones los cambios han sido tan grandes que se ha utilizado el término “revolución” para referirse a ello. El termino Industria 4.0 reconoce la existencia de tres estados previos:

-Industria 1.0: La primera revolución industrial es el término utilizado para referirse al cambio de la producción puramente manual al empleo de maquinaria para dicha actividad. El gran acontecimiento de esta industria vino en 1782 con la creación del motor de vapor por James Watt. Desde este descubrimiento, fue posible tener suministro de energía en cualquier lugar y se comenzó a abandonar progresivamente el trabajo manual.

-Industria 2.0: La segunda revolución industrial fue caracterizada por los principios de racionalización de Taylor. Está principalmente basada en la distribución de las tareas, estandarización, precisión y línea de montaje. Henry Ford aplicó estos principios en la fabricación del Modelo-T y consiguió un gran éxito dentro de la industria del automóvil a principios del siglo XX.

-Industria 3.0: La tercera revolución industrial se basó en el desarrollo de los ordenadores y tecnología IT. Esto conllevó a la automatización de sistemas caracterizados por tener mayor productividad y flexibilidad.

-Industria 4.0: En la actualidad nos encontramos en los inicios de la cuarta revolución industrial donde las tecnologías de la información y comunicación crecen conjuntamente estando presentes en la mayoría de los ámbitos de la vida. Dispositivos y sistemas controlados por programas integrados en una red de comunicación global donde el internet es la clave del éxito [6].

2.2. COMPONENTES TÉCNICOS DE LA INDUSTRIA 4.0.

En general, la industria 4.0 concibe 4 componentes básicos: sistemas físico-ciberneticos (CPS), IoT, Big data y Data Mining e Internet del servicio (IOS) [7].

-Sistemas físico-ciberneticos: Este componente es el encargado de transmitir el mundo real al mundo virtual. En el desarrollo de estos componentes se diferencian 3 etapas. La primera generación de CPS incluye tecnologías de identificación como el RFID (identificación por radiofrecuencia) que permite la identificación de objetos, análisis y almacenamiento. La segunda generación de CPS está equipada con sensores y actuadores con un límite de funciones. La tercera generación puede almacenar y analizar datos, y además, están equipados con múltiples sensores y actuadores compatibles con la red.

-IoT: El internet de las cosas permite a “cosas y objetos” interactuar entre ellas mediante componentes inteligentes. Basándonos en la definición de CPS, estos representan las “cosas y objetos”, por lo tanto, IoT puede ser pensado como la red que permite a los CPS cooperar e interactuar entre ellos.

-Data Mining: Obtener datos en tiempo real no es solo almacenar grandes cantidades de datos. El data mining permite analizar y descubrir patrones y reglas a partir de los datos recolectados de múltiples fuentes para poder realizar la decisión correcta, en el tiempo y en el lugar correcto.

-Internet del Servicio: El internet del servicio permite a vendedores ofrecer sus servicios a través de internet. Consiste en un modelo de negocio e infraestructura para servicios. Estos son comunicados a los usuarios y consumidores y distribuidos a través de diferentes canales [8].

2.3. PRINCIPIOS DE LA INDUSTRIA 4.0

Para ayudar a las compañías a desarrollar la industria 4.0, se han establecido 7 principios básicos a seguir para el desarrollo de esta estrategia [9].

-Interoperabilidad: En industria 4.0, CPS y humanos están conectados a través de IoT y IoS.

-Virtualización: Este principio se refiere a la habilidad de los CPS para monitorear procesos físicos. Los sensores de datos están conectados a modelos virtuales y modelos de simulación.

-Descentralización: El aumento de la demanda de productos individuales hace difícil el control de sistemas centralizado. Los ordenadores integrados permiten a los CPS tomar decisiones por ellos mismos. Solo en caso de fallo, las tareas son delegadas a un nivel mayor.

-Capacidad de transmitir a tiempo real: Para tareas de organización es necesario recolectar y analizar datos en tiempo real. El estado de componentes y sistemas es comprobado permanentemente.

-Orientación al servicio: Los servicios de compañías, CPS y humanos están disponibles a través del IoS y puede ser utilizado por otros participantes. Pueden ser ofrecidos directamente o a través de intermediarios.

-Modularidad: Sistemas modulares permiten adaptarse a cambios de requerimientos reemplazando módulos individuales de forma flexible.

-Seguridad: La industria 4.0 utiliza tecnologías ICT para transmisión y procesamiento de datos. La seguridad y privacidad de estos datos durante procesos de intercambio debe ser total tanto a nivel de Hardware como de Software.

3. CIUDADES INTELIGENTES.

3.1. ¿QUÉ ES UNA CIUDAD INTELIGENTE?

El objetivo principal de una ciudad inteligente es: “proveer a los ciudadanos con servicios más eficientes para monitorizar y optimizar la infraestructura existente e incrementar la colaboración entre los diferentes actores económicos y fomentar los modelos de negocio innovadores tanto en el sector público como en el sector privado” [4]. Para poder alcanzar estos objetivos, las ciudades inteligentes se basan por un lado en la utilización de tecnologías de la información de última generación (redes de fibra óptica, sensores y dispositivos conectados, análisis de datos públicos, IoT, TIC) [10], y por otro lado en el capital humano (por ejemplo, investigación en las universidades, compañías de conocimiento intensivo e instituciones públicas) [11].

Las estrategias de las ciudades inteligentes se basan en diferentes factores, y algunos autores dividen las estrategias en “duras” (construcción inteligente, red de energía

inteligente, gestión de agua inteligente, movilidad inteligente) y “blandas” (desarrollo humano y del capital social mediante la educación, la cultura, la inclusión social y la innovación social) [12]. Sin embargo, otros autores sugieren pensar en la provisión de infraestructura local (el proyecto inteligente de gestión de energía, edificios, espacios públicos, desechos y sanidad, administración de alimentos, suministro de agua y transporte). El desarrollo de todas estas iniciativas tiene que llevarse a cabo siempre midiendo los beneficios en cuanto a medio ambiente, economía y sociedad [11].

Todos los modelos de ciudades inteligentes están basados en la clasificación de Giffinger [14] de las características de una ciudad inteligente en torno a seis dimensiones: calidad de vida (Vida Inteligente), competitividad (Economía Inteligente), capital social y humano (Población Inteligente), servicios públicos, sociales y participación ciudadana (Gobierno Inteligente), infraestructura de comunicación y transporte (Movilidad Inteligente) y recursos naturales (Entornos Inteligentes).

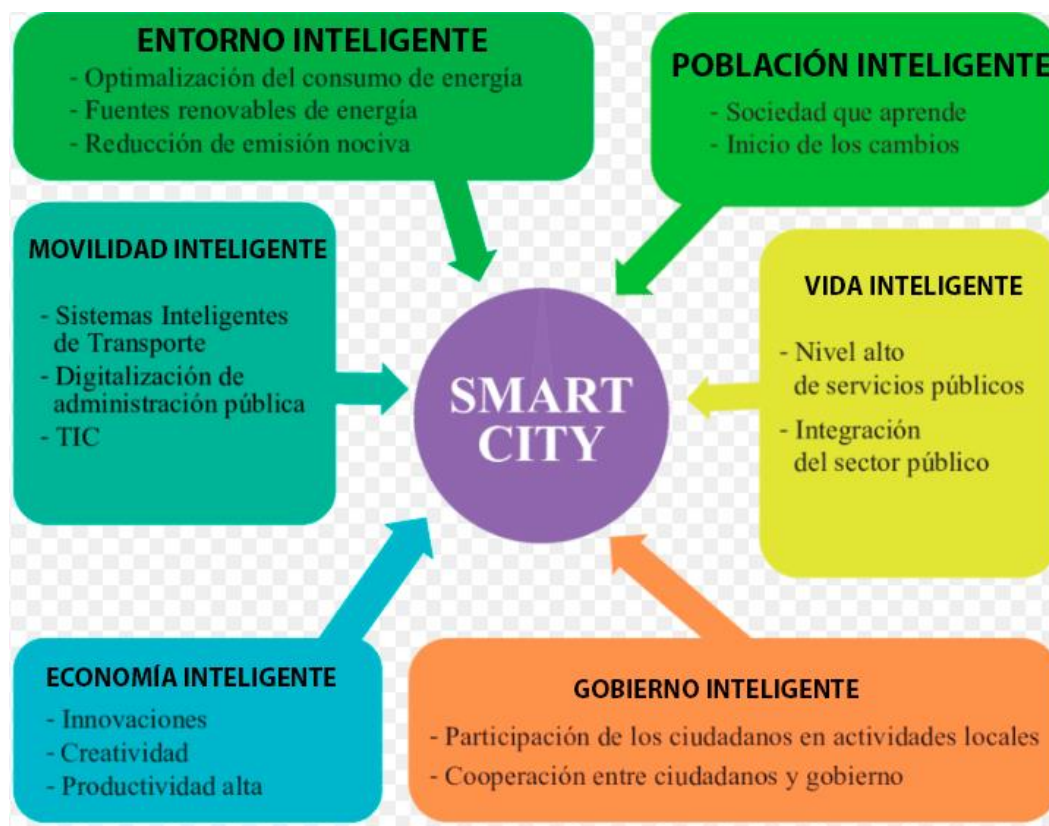


Figura 1. Factores principales de una ciudad inteligente. Adaptado de [15].

De acuerdo con este modelo, cualquier ciudad inteligente debe comenzar desde la infraestructura física (Entornos Inteligentes y Movilidad Inteligente), que es la base para crear ecosistemas innovadores basados en capital humano y social (Población Inteligente y Economía Inteligente). Estas iniciativas requieren la coordinación de entidades públicas y privadas (Gobierno Inteligente), cuyo objetivo es aportar una mejor calidad de vida (Vida Inteligente).

3.1.1. La infraestructura física:

Debido al aumento masivo de población que se desplaza a los núcleos urbanos, se presentan grandes desafíos en términos de vivienda, electricidad, calefacción y escolaridad además de la creación de empleo. Para desarrollar soluciones a estos problemas, se necesita desarrollar una combinación de redes inteligentes (Internet de Datos, Internet de las cosas e Internet de Servicios) para minimizar el impacto medioambiental a la vez que se maximiza el bienestar social y se promueve la colaboración de los ecosistemas [16].

El Internet de los datos se implantó con el proyecto Arpanet en 1960. Sin embargo, debido al gran desarrollo de la comunicación en el último siglo, se ha tenido que incrementar la velocidad, el volumen, la variedad y el valor de la transferencia de datos (redes de Big Data). Este masivo incremento de datos no solo proviene de los contenidos creados por las personas (blogs, redes sociales, videoconferencias, etc.), sino también de los intercambios de datos entre las máquinas (Internet de las cosas). Gracias al desarrollo de sofisticados algoritmos para obtener, visualizar y analizar datos, el Big Data ha creado oportunidades para aprender en tiempo real cómo mejorar el tráfico, ahorrar energía, regular el tránsito público, reducir los residuos y la contaminación y mejorar la seguridad en un gran número de núcleos urbanos [17].

El internet de los datos se ha visto dominado por el internet de las cosas. En las dos últimas décadas, ha habido un gran aumento del rendimiento del hardware a costes muy bajos, junto con una drástica miniaturización de los componentes. En 2003, se estimó un total

de 500 millones de dispositivos conectados a nivel mundial, mientras que en 2010 eran ya 12.5 billones. Se estima un incremento de hasta 25 millones para 2020 [18].

La convergencia del Big Data, el internet de las cosas, y la inteligencia artificial promete crear mejores lugares (parques, edificios y casas) mediante la aportación de infraestructuras más inteligentes (transporte, energía y gestión de residuos). Esto se corresponde con los elementos mencionados anteriormente: “Entornos Inteligentes” y “Movilidad Inteligente”.

Entornos Inteligentes

Esta iniciativa incluye el uso de la tecnología para mejorar los aspectos cruciales de la vida urbana como la gestión de residuos, aumento de la alimentación, control de la contaminación, redes eléctricas inteligentes, calidad de la vivienda y una gestión más eficiente.

Por ejemplo, el uso de sensores de IoT (como los chips de identificación de frecuencias de radio, los detectores de proximidad, los sensores de presión, los sensores ópticos) pueden cambiar drásticamente la manera en la que se gestiona el entorno de una ciudad inteligente. Los ayuntamientos de las ciudades pueden optimizar la recolección de residuos, clasificación y reciclaje mediante el desarrollo de sensores inteligentes de bajo coste colocados en los cubos de basura, en los camiones de basura y en las plantas de reciclaje que compartan en tiempo real los datos sobre la cantidad de los residuos urbanos en cada barrio de la ciudad. Este sistema no solo facilitaría la toma de decisiones en términos de logística y estrategia urbana, sino que también se pueden promover campañas de educación urbana para mejorar la manera de reciclar.

Otro ejemplo podría ser el control de la contaminación mediante la aplicación del IoT. La utilización de sensores puede ayudar a detectar y prevenir fuegos en los bosques alertando automáticamente sobre los niveles de micro partículas y otros contaminantes [19]

Respecto a la distribución de energía, la ‘red inteligente’, permite el despliegue de los sistemas que optimizan el uso de energías renovables basadas en estadísticas en tiempo-real sobre su uso. Estas redes son capaces de auto diagnosticarse en situación de malas

condiciones atmosféricas y tomar acciones como reducir los cortes de luz y mejorar la calidad del servicio [20].

Finalmente, una mejor infraestructura se puede lograr mediante el desarrollo de casas inteligentes, edificios inteligentes e iniciativas de gestión facilitada conectadas. En el espacio del consumidor, los algoritmos de Inteligencia Artificial pueden obtener datos sobre los hábitos de los habitantes de una casa y optimizar los sistemas de calefacción mediante termostatos conectados o la seguridad se puede incrementar mediante cámaras conectadas incluso regular los termostatos de los frigoríficos para poder mejorar y aumentar la conservación de los alimentos, tanto en los hogares como en los supermercados.

Movilidad Inteligente

Uno de los principales objetivos de las ciudades inteligentes es mejorar la congestión de la mayoría de los núcleos urbanos. Las soluciones van desde la utilización de vehículos autónomos que no necesitan conductor hasta la utilización de sensores en las partes críticas del núcleo urbano como las carreteras, las vías, el metro, los túneles, puertos y aeropuertos. Estos sensores pueden aportar datos sobre la fluidez del tráfico, reducir accidentes, mejorar el transporte público y poder aparcar más rápido y más fácil.

Una de las tecnologías emergentes que se ha convertido en una tendencia de “Movilidad Inteligente”, es la red social de vehículos (Vehicular Social Network (VSNs)) o la aplicación de Google, Waze. Esta aplicación es capaz de integrar miles de datos de conductores en tiempo real desde sus smartphones. Estos sistemas no solo permiten obtener informaciones de tráfico más precisas, sino también mejores soluciones de navegación cooperativa, ‘car sharing’, control de robo o alertas de seguridad.

En Barcelona, por ejemplo, se ofrece un sistema de realidad que facilita la decisión de los viajeros para poder encontrar las paradas de autobuses más cercanas, las estaciones de metro, tranvía o trenes. La ciudad integra datos generados por diferentes sistemas inteligentes en una plataforma de movilidad urbana unificada en colaboración con Cisco [21].

3.1.2. Ecosistemas innovadores en ciudades inteligentes.

La infraestructura de las ciudades inteligentes puede crear un único ecosistema en el que colaboren los ciudadanos, las industrias, las universidades y los centros de investigación para desarrollar productos innovadores, servicios y soluciones. Este sistema de colaboración demanda altos niveles de capital humano y social debido a que el proceso innovador está basado en el conocimiento y aprendizaje (Población Inteligente). En lugares donde la creación de conocimiento y la aplicación de conocimiento están articulados por el gobierno local, la creatividad y la innovación dan lugar a un ambiente más competitivo y entornos locales más atractivos (Economía Inteligente).

Población Inteligente

Las ciudades inteligentes fomentan el desarrollo del capital humano y social. El capital humano se puede definir como las habilidades y las competencias de un individuo o un grupo, mientras que el capital social es la calidad y el número de enlaces que conectan instituciones sociales.

En las ciudades inteligentes, la presencia de universidades y otras instituciones de educación superior son esenciales para el desarrollo del capital humano, con claros impactos en el crecimiento económico. Sin embargo, no es suficiente desarrollar capital humano, sino que las ciudades deben retener y atraer talento haciendo la vida más divertida. Pittsburgh, por ejemplo, tiene excelentes universidades, pero no tienen entornos atractivos como San Francisco o Boston, en parte porque tienen una vida menos atractiva para jóvenes o graduados [22].

Además, el capital social debe ser reforzado atrayendo talento e inversiones y aportando altos niveles de vida en términos de seguridad, salud e infraestructuras de ocio.

Economía Inteligente

Gracias a la infraestructura de hardware, por un lado y el capital social y humano por otro, las ciudades inteligentes pueden desarrollar entornos de negocio más competitivos. De este modo, los “Entornos Inteligentes”, “Movilidad Inteligente” y “Población Inteligente” son la base de los modelos de negocio innovadores de la “Economía Inteligente”. Las

ciudades inteligentes normalmente crean núcleos tecnológicos para facilitar el intercambio de conocimiento en los centros de investigación, así como en los parques de innovación.

3.1.3. Calidad de vida en las ciudades inteligentes.

La colaboración entre los trabajadores (Población Inteligente) para crear ecosistemas innovadores (Economía Inteligente) requiere una gran articulación con los inversores (Gobierno Inteligente) que usualmente están constituidos por las agencias de gobierno o asociaciones públicas y privadas (Public-Private Partnerships (PPPs)). Se necesita una coordinación efectiva entre los cientos de usuarios de la información y los sistemas de comunicación que permita a los inversores estar alerta de cada uno de los movimientos y facilitar un apoyo mutuo.

Gobierno Inteligente

De acuerdo con la asociación europea de innovación en las ciudades y comunidades inteligentes [23] el papel principal de las entidades de gobierno es: “gestionar los flujos de información entre los inversores, coleccionando y procesando datos relacionados a procesos de valor añadido en las ciudades inteligentes”. Las entidades de gobierno también deben certificar la calidad y la integridad de los datos, permitiendo mecanismos financieros, coordinación de inversores (incluyendo a los ciudadanos) mediante la cadena de valores y generando conciencia interna y externa sobre las iniciativas de las ciudades inteligentes. Las labores fundamentales de estas entidades de gobierno incluyen: promover, ejecutar, financiar, garantizar y certificar los proyectos.

Las entidades de gobierno también deben asegurar una transparencia, contabilidad, comunicación y participación de todas las organizaciones involucradas [24].

El “Gobierno Inteligente” también debe utilizar infraestructuras ICT para alcanzar todos los objetivos, proporcionando a los inversores una solución simplificada basada en la integración de servicios aplicados. Dicha solución debe estar basada en: a) análisis de datos y diagnóstico de procesos en tiempo real, b) coordinación de la actividad y

organizaciones sociales de las iniciativas de las ciudades inteligentes, c) comunicación entre los ciudadanos, d) gestión de la infraestructura, e) gestión de servicios, f) gestión de incentivos.

La gestión de incentivos es para muchos autores el ingrediente esencial para el gobierno de una ciudad inteligente. Además, se debe gestionar la motivación tanto intrínseca (basada en el valor: curiosidad, altruismo, competitividad) como la extrínseca (recompensas externas) [25].

Vida Inteligente

En lo más alto de la pirámide se sitúa el bienestar ciudadano. La OECD (2017) [26] define bienestar como resultado de las condiciones materiales, calidad de vida y sostenibilidad. Esta sección final analiza como la “Movilidad Inteligente”, “Población Inteligente”, “Economía Inteligente” y “Gobierno Inteligente” dan lugar a una “Vida Inteligente” en las ciudades modernas. De acuerdo a la iniciativa de contexto para una mejor vida de la OECD (2017), la “Vida Inteligente” debe incluir iniciativas para mejorar la salud, la educación y los servicios sociales para optimizar la participación ciudadana. Debe haber un impacto positivo en el medio ambiente, reducir la vulnerabilidad y mejorar la seguridad. La calidad de vida también tiene que estar basada en mejores trabajos, mejores hogares e infraestructuras (condiciones materiales) así como en la preservación del desarrollo natural, económico, humano y capitales sociales.

Por otro lado, el desarrollo de estas seis dimensiones en cualquier ámbito posibilitan integrar procesos en la administración pública de forma más sencilla que aportan mayor información y transparencia para facilitar la toma de decisiones y gestión presupuestaria; optimizar el destino de los recursos y reducir gastos innecesarios; mayor bienestar y confort de los ciudadanos, que son capaces de aprovechar mejor los servicios y los organismos públicos; mayor participación de los ciudadanos en la administración por medio de herramientas tecnológicas que ayudan a monitorizar los servicios públicos, identificar problemas, informar e interactuar con la administración municipal para resolverlos.

Los objetivos de las ciudades inteligentes se centran en:

- La integración digital de la administración local, regional, estatal y europea mediante el Big Data.
- Desarrollo de la "Economía Inteligente" fomentando las Start-ups, comercio en línea y nuevas líneas de negocio basadas en las nuevas tecnologías.
- Disponer de un sistema de medio ambiente inteligente, que aproveche las tecnologías y las energías renovables en la vivienda, urbanismo y gestión de residuos.
- Contar con una ciudadanía inteligente que apueste por la creatividad e innovación en la educación, formación y gestión de recursos humanos.
- Poseer un sistema de "Movilidad Inteligente" que cuente con un sistema de transporte integrado, seguro y sostenible.

Todas estas condiciones enfocan una ciudad inteligente hacia un desarrollo sostenible de los recursos de la urbe basados en una economía circular cuyo objetivo es cubrir las necesidades de sus ciudadanos garantizando la disponibilidad de recursos y la calidad de vida a sus ciudadanos.

Esta economía circular permite reducir los gastos asociados a diferentes servicios que ofrece la ciudad en el plano logístico, de movilidad, tratamiento de residuos, así como la gestión de la energía proporcionando a su vez hábitos sostenibles a sus habitantes.

3.1.4. Estimación de la inteligencia de una ciudad inteligente.

El proyecto *Europeansmartcities* de la Universidad de Viena trabaja para calcular el grado de inteligencia de diferentes ciudades europeas ponderando diferentes indicadores. El software Europeansmartcities 4.0 (2015) trabaja con ciudades que tienen un número de habitantes de 300.000 a un millón. Su principal función es ponderar los diferentes indicadores que se muestran en la tabla 1 correspondientes a los seis principales factores que definen a una ciudad inteligente (Economía Inteligente, Gobierno Inteligente,

Población Inteligente, Vida Inteligente, Movilidad Inteligente y Entornos Inteligentes). Para poder comparar los diferentes indicadores es necesario estandarizar los valores de cada parámetro (Fórmula 1).

$$Z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{S}$$

Fórmula 1. Transformación-z.

Este método transforma todos los valores de los indicadores en valores estandarizados con una media 0 y una desviación estándar de 1. Tiene la ventaja de que considera la heterogeneidad entre los diferentes grupos y mantiene su información métrica. Además, presenta una alta sensibilidad frente a los diferentes cambios [14].

Tabla 1. Características y factores de una ciudad inteligente. Adaptado de [14].

Economía Inteligente	Población Inteligente
<ul style="list-style-type: none"> • Espíritu innovador. • Emprendimiento. • Imagen de la ciudad. • Productividad. • Labor de mercado. • Integración internacional. 	<ul style="list-style-type: none"> • Educación • Aprendizaje a largo plazo. • Diversidad étnica. • Población con mente abierta.
Gobierno Inteligente	Movilidad Inteligente
<ul style="list-style-type: none"> • Conciencia política. • Servicios públicos y sociales. • Administración transparente y eficiente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema local de transporte. • Accesibilidad (inter)-nacional. • Infraestructura ICT • Sostenibilidad del sistema de transporte.
Entorno Inteligente	Vida Inteligente
<ul style="list-style-type: none"> • Calidad del aire (no contaminación). • Conciencia ecológica. • Gestión sostenible de los recursos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Facilidades culturales y de ocio. • Condiciones de salud. • Seguridad individual. • Calidad de la vivienda. • Facilidades de educación. • Atracciones turísticas. • Cohesión social.

Para medir el nivel de inteligencia de una ciudad se pondera cada una de las seis características. Según el proyecto Europeansmartcities 4.0, la ponderación de cada uno de los seis factores es la siguiente:

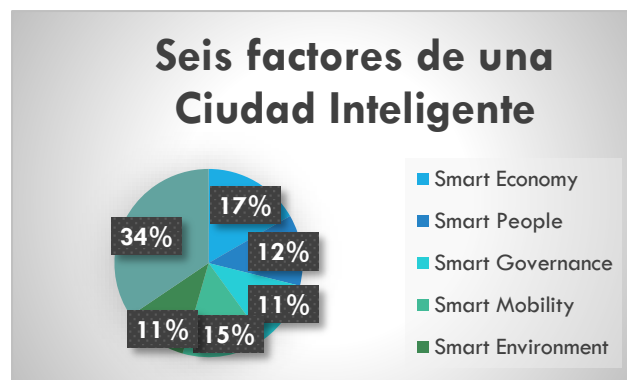


Figura 2. Ponderación general de cada uno de los seis factores de una Ciudad Inteligente.

Dentro de cada categoría se utilizan unos indicadores que también tienen una ponderación. Estas ponderaciones de los diferentes indicadores utilizadas en el proyecto Europeansmartcities 4.0 se muestran en la figura 3.

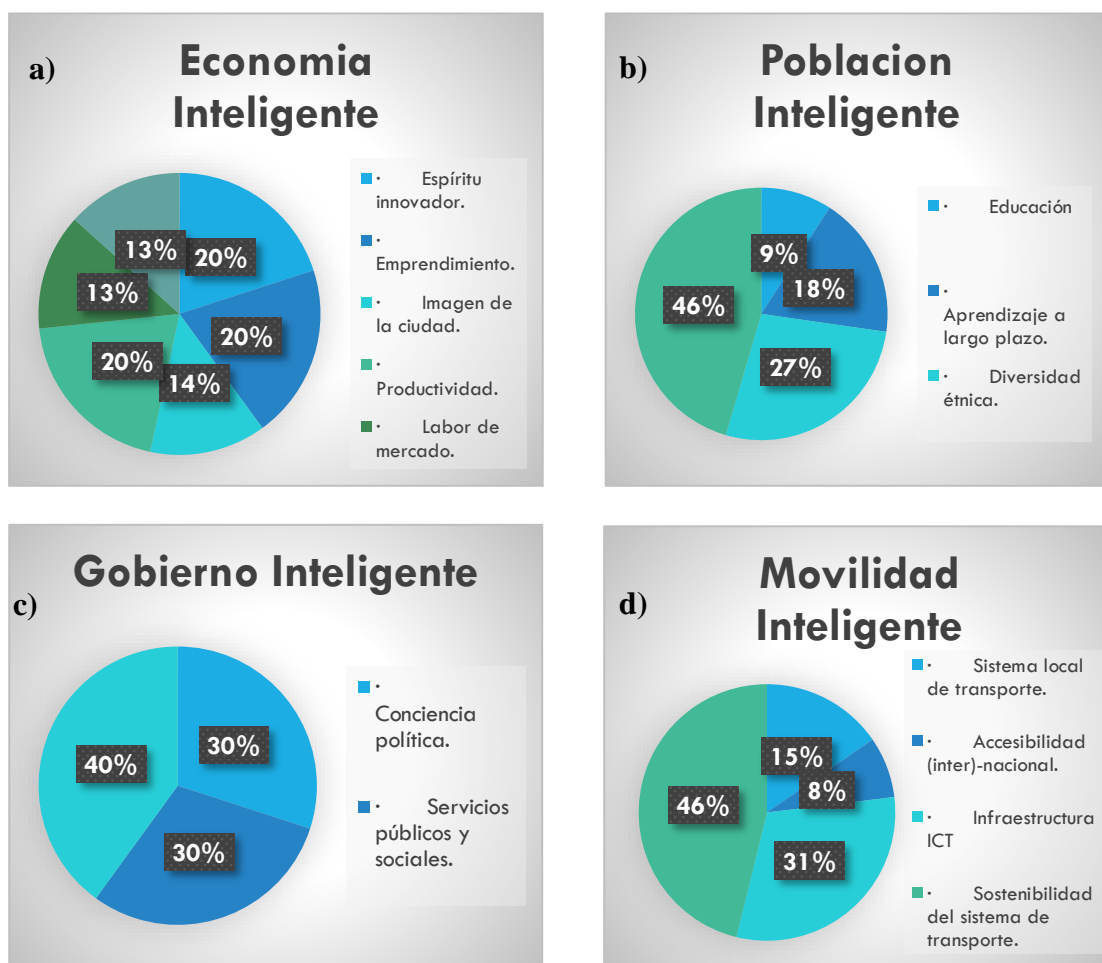


Figura 3 a), b), c), d). Ponderaciones de los diferentes indicadores de cada factor de una Ciudad Inteligente

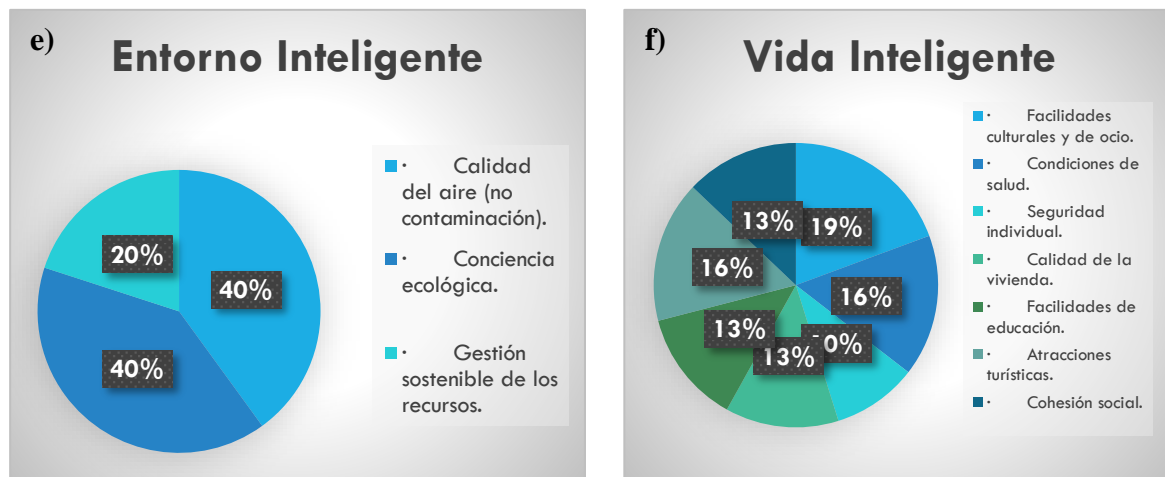


Figura 3 e, f). Ponderaciones de los diferentes indicadores de cada factor de una Ciudad Inteligente.

Además, en el proyecto *Europeansmartcities* han creado otro software (Europeansmartcities 3.0 (2014)) para ciudades de mediano tamaño en Europa (entre 100.000 y 500.000 habitantes), que se basan en las mismas seis características principales, pero utilizando algunos indicadores diferentes dentro de cada categoría.

3.2. PROGRAMAS DE APOYO A LAS CIUDADES INTELIGENTES

La unión europea está llevando a cabo numerosas políticas, propuestas e iniciativas para fomentar el crecimiento y desarrollo de las ciudades inteligentes en Europa.

1. **“The energy union policy”**: Es un proyecto de la comisión europea para coordinar la transformación del suministro de energía en la unión europea. Fue lanzado en 2015 con el objetivo de proporcionar energía sostenible, segura, competitiva y rentable, además de incentivar la investigación innovación y competitividad. Los principios básicos de este proyecto se centran en cinco importantes áreas:

- Asegurar suministros: para poder depender menos del suministro de energía de otros países, la comisión europea en 2016 presentó un paquete de medidas para la seguridad energética en la que se reducirían al mínimo las interrupciones de suministro. Se introdujo por primera vez

un principio de solidaridad en la que los miembros vecinos ayudarían a asegurar un suministro de energía y servicios sociales en caso de crisis.

- Expandir el mercado de energía interna: la energía debería fluir gratis en toda la UE sin ningún tipo de barreras. Proyectos como el “Baltconnector” (la primera tubería conectando Finlandia y Estonia) que se pondrá en práctica en 2020, unirá por primera vez la región del mar Báltico con el resto del mercado energético de la UE y será el fin de la dependencia de Finlandia por un solo proveedor de gas. También, el proyecto “Midcat” unirá el mercado de gas de España y Portugal, que se podrán unir con el resto de Europa.
- Incrementar la eficiencia energética: en noviembre de 2016 la comisión europea propuso un plan ‘Energía limpia para todos los europeos’ que estaba compuesto por una serie de leyes para ayudar a la transición a un sistema de energía limpia.
- Reducir emisiones: la UE se ha comprometido a reducir las emisiones de CO₂ hasta al menos un 40% en 2030 a la vez que se moderniza la economía creando trabajos y crecimiento para todos los ciudadanos europeos. En julio de 2016 la comisión europea propuso un acuerdo con los Estados Miembros para ser establecido entre 2021 y 2030 con el objetivo de reducir las emisiones provenientes del transporte, los edificios y la agricultura.
- Investigación e innovación: la comisión europea va a invertir casi 6 billones de euros en investigación en energía no-nuclear entre 2014 y 2018. En septiembre de 2015 la comisión adoptó el plan de estrategia de tecnología energética que ayudará a alcanzar los objetivos que deben ser

alcanzados para poder cumplir el plan de transformación del sistema energético de la UE [27].

Durante los últimos cuatro años que el proyecto lleva en curso, se han alcanzado diferentes logros en las cinco dimensiones principales de la unión energética (Union Energy): seguridad energética (invertir más de 50 billones de euros en infraestructura energética), mercado de energía interna (integración de las regiones aisladas como la región Báltica y la Península Ibérica), eficiencia energética (hay 900.000 empleos más en la industria energética en Europa desde 2015), descarbonización (17.5% del consumo de energía final en Europa vino de la energía renovable en 2017), investigación y desarrollo (por ejemplo, con los planes de estrategia para baterías, la comisión adoptó unas medidas para desarrollar una cadena de producción innovadora, sostenible y competitiva).

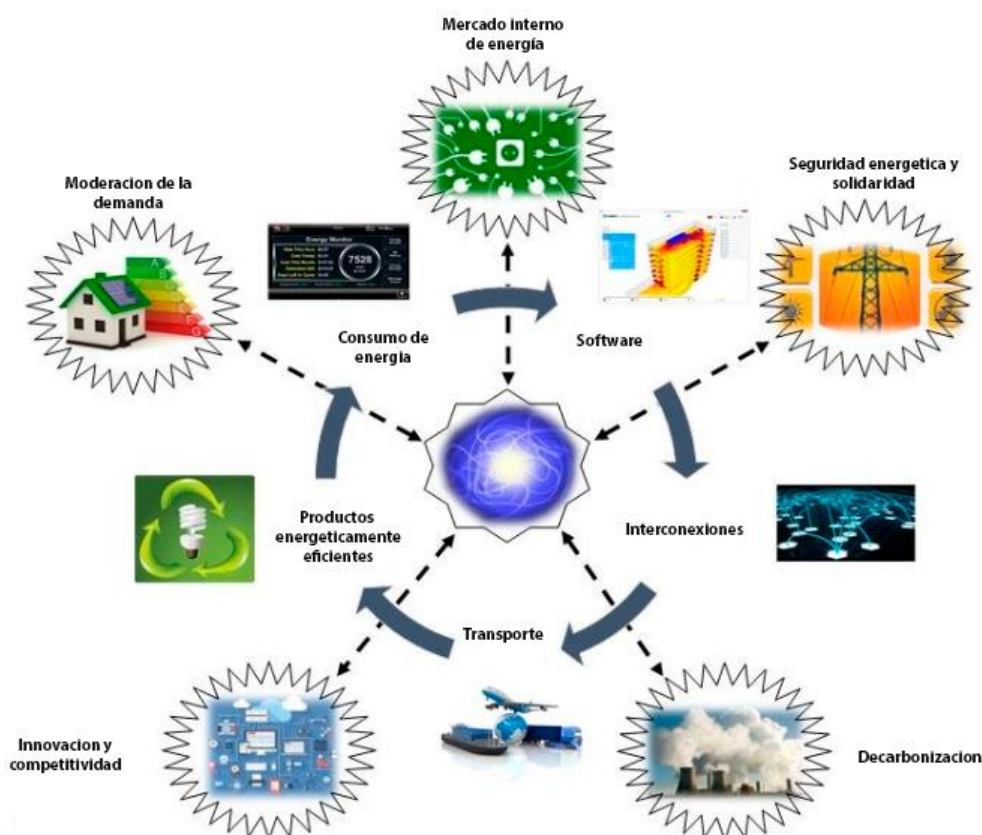


Figura 4. Energy Union Estrategia. Esquema de los objetivos del plan de Energy Union. Adaptado de [28]

La estrategia también incluye un mínimo del 10% de interconexión eléctrica para todos los miembros estado para finales de 2020 con el objetivo de reducir la presión y el precio en la energía, reducir la necesidad de construir nuevas plantas, mejorar la confianza en el suministro de energías renovables y apoyar la integración del mercado [28]. Además, los miembros de la unión europea acordaron el 25 de enero de 2018 invertir 873 millones de euros en una infraestructura eléctrica limpia financiada por CEF (Connecting Europe Facility) entre otros, para la construcción de la interconexión entre España y Francia para aumentar la capacidad de 2.8GW a 5GW.

2. **“The Urban Agenda”:** Fue lanzada en el pacto de 2016 en Ámsterdam con el objetivo de mejorar las leyes y dar visibilidad y acceso a los principales problemas que sufren las ciudades haciendo partícipes a comisiones, ministros nacionales y gobiernos para la toma conjunta de decisiones [29] .

Sus normativas se centran en:

- Promover medidas para apoyar las ciudades limpias fomentando el desarrollo de energías renovables, mejores infraestructuras de transporte público y gestión sostenible de los recursos naturales.
- Fortalecer la resiliencia de las ciudades para reducir el riesgo e impacto de desastres desarrollando mejores planificaciones urbanas e infraestructuras de calidad.
- Tomar acción para solucionar el problema del cambio climático y reducir los gases de efecto invernadero mediante el fomento de ciudades sostenibles.
- Mejoras la conectividad y apoyar iniciativas sostenibles estableciendo relaciones comerciales que proporcionen soluciones limpias a los desafíos urbanos.
- Promover espacios verdes públicos seguros y accesibles para favorecer la interacción humana con la ciudad mediante parques, carril bici y plazas.

-La política de las ciudades inteligentes trata de unificar “The energy unión” y “The Urban Agenda”.



Figura 5. The Urban Agenda. Las claves principales del proyecto de la comisión europea Urban Agenda. Adaptado de [29].

3. Asociación Europea para la innovación en ciudades inteligentes: esta asociación integra los sectores de las tecnologías de la comunicación, la energía y el transporte. Pretende aplicar soluciones innovadoras para abordar problemas como la congestión, la contaminación del aire, los altos costes de energía y conseguir una mejor movilidad, un ambiente urbano más limpio y una energía más eficiente.

En 2014, se entregaron más de 370 proyectos de ciudades inteligentes y soluciones por más de 3000 socios.

4. El rendimiento energético en la directiva de edificios (EPBD): Los edificios son responsables de la emisión de un 36% de emisiones de CO₂, el consumo de un 40% de energía, un 35% de los edificios de la UE tienen más de 50 años y un

75% de los edificios son ineficientes energéticamente, por eso la UE ha creado nuevas normas para mejorar la eficiencia energética de los edificios. Su intención es mejorar la eficiencia energética en edificios, reducir las emisiones de carbono y reducir el impacto climático [30] [31].

Los principales puntos para seguir en esta normativa son:

- Cada vez que un edificio salga a la venta o alquiler, debe ir acompañado de un certificado energético.
- Grandes edificios públicos deben mostrar en un lugar visible su certificado energético.
- Se deben programar inspecciones para aparatos de aire acondicionado y calefacción o sistemas de medida para comprobar el estado de las instalaciones.
- Los países de la unión europea deben fijar un mínimo de eficiencia energética para nuevos edificios y edificios que estén siendo renovados y reemplazar los sistemas de climatización y elementos aislantes.

Con estas medidas se pretende acelerar la renovación de edificios, instalar sistemas de energía que permita mejorar la eficiencia energética de los edificios haciéndolos cada vez más inteligentes [32].

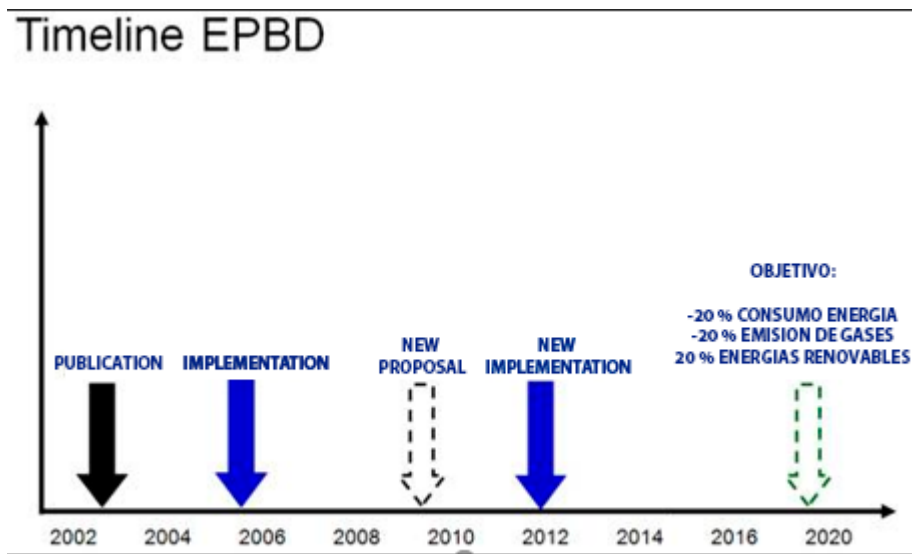


Figura 6. Línea del tiempo de EPBD en la que se observa los objetivos a alcanzar por la unión europea: reducir un 20% el consumo de energía, al igual que los gases de efecto invernadero y aumentar un 20% las energías renovables [33].

5. “The strategic Energy Technology plan (SET-Plan)” (Plan de estrategia en tecnología energética): Se trata de uno de los pilares fundamentales de la política de energía europea [34]. Coordina la investigación e innovación de sistemas de energía bajos en carbón y promueve la inversión en los miembros de la unión europea y otros países participantes como Islandia, Noruega, Suiza y Turquía.

Las nueve acciones claves a tener en cuenta son:

- Desarrollar tecnologías de energía renovables e integrarlos en la red energética europea.
- Reducir el coste de estas tecnologías renovables.
- Crear nuevas tecnologías y servicios para los consumidores.
- Incrementar la resiliencia y seguridad del sistema energético.
- Desarrollar materiales y tecnologías eficientes para edificios.
- Mejorar la eficiencia energética en la industria.
- Ser competitivos en el sector de e-mobility.
- Fortalecer el mercado de combustibles renovables.

-Mejorar la seguridad en el uso de energía nuclear.

6. Sistema de información de ciudades inteligentes (The Smart cities information system (SCIS)): Esta iniciativa pone en contacto inversores, ciudades, instituciones, industrias y expertos de toda Europa para intercambiar información, experiencia y colaborar en la creación de ciudades inteligentes y entornos urbanos eficientes [35].

Se centra en ciudades inteligentes principalmente en los sectores de eficiencia energética, transporte y movilidad proporcionando directrices y soluciones para el desarrollo de edificios y distritos sostenibles, energías renovables para ciudades y tecnologías basadas en bajas emisiones de carbono.

-Proporcionan una gran base de datos con proyectos reales centrados en la tecnología, la eficiencia energética y desarrollo urbano sostenible que permite replicar y dar soporte a nuevos proyectos.

-Ofrecen ejemplos de fuentes de energía renovables y de bajas emisiones de carbono.

-Promueven buenas practicas analizando y visualizando resultados de proyectos permitiendo a los inversores aprender y replicar proyectos ya establecidos.

-Identifican barreras y lecciones que aprender con el objetivo de encontrar mejores soluciones tecnológicas.

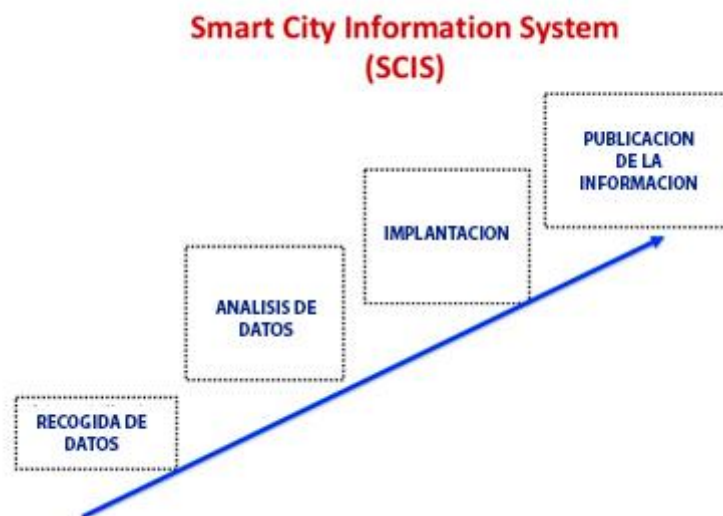


Figura 7. Sistema de información de ciudades inteligentes (SCIS). Este sistema se basa principalmente en recoger datos creando una base de datos, posteriormente se analizan los datos de todos los sectores (económico, ingeniero, seguridad, gestión y medioambiental), se crean comandos mediante sistemas de regulación, alertas y cambios en los procesos técnicos y de gestión. Por último, se presentan esos comandos y se monitorizan mediante el personal, los administrativos, los usuarios y el personal de emergencias [35].

Dentro de este gran proyecto, hay otros proyectos que pretenden implantar ciudades más inteligentes mediante el uso de tecnologías que permitan reducir las emisiones, mejorar el transporte y, en definitiva, mejorar la calidad de vida de los ciudadanos. Algunos de estos proyectos que se encuentran dentro del sistema de información de ciudades inteligentes son:

- **Proyecto next-buildings:** este proyecto deriva del programa CONCERTO. Se centra en la construcción de edificios eficientes, económicos y de muy baja energía. Consiste en tres proyectos prueba en Ámsterdam Houthaven (Holanda), Lyon Confluence (Francia) y Helsinbourg Kvarteret Isbanan (Suecia). Estos proyectos tienen en total una superficie dedicada de unos 50.000m². Estos tres proyectos no solo se basan en la utilización e implantación del uso de energías renovables (reducción de un 88% en el uso de energía y un ahorro de 0.003Mt de CO₂), sino que también se basan en la utilización de sistemas tecnologías de la información y la comunicación (implantación de más de 10.000

sensores basados en movimiento e imagen, temperatura, CO₂, humedad, etc) [36, p.].

- **“BUILDSMART Site” en Bilbao:** este proyecto se desarrolla en el municipio de Portugalete y pretende implantar tecnologías para ser más eficientes energéticamente para lograr alcanzar objetivos, pero a un bajo coste. Las tecnologías que se emplean son por ejemplo implantar paredes parietodinámicas integradas con los sistemas de ventilación de los edificios para poder maximizar el almacenamiento de energía en la fachada. Además, el uso de tejados verdes que proveen aislamiento en invierno y previenen del sobre calentamiento en verano. También se implantan sistemas de ICT para mejorar la gestión del edificio, además de utilizar pantallas instaladas en los edificios para proporcionar información sobre la calefacción, la iluminación y el consumo de electricidad, lo que supone una buena herramienta de comunicación con los residentes, haciéndolos conscientes del consumo de energía para poder mejorar su comportamiento en cuanto al ahorro [37].
- **“MySMARTLife”:** este programa pretende ser implantado en Nantes, Hamburg, Helsinki y posteriormente en Bydgoszcz (Polonia), Rijeka (Croacia) y Palencia que combinan ICT, e-mobility y soluciones energéticas sostenibles en espacios urbanos. Sus objetivos son principalmente mejorar la calidad de vida en las ciudades mejorando los servicios de la ciudad y desarrollando el concepto de “Población Inteligente”, reduciendo el impacto medioambiental de las diferentes actividades mediante la reducción de la emisión de CO₂, conseguir una “Economía Inteligente” ofreciendo un concepto de economía dinámica e innovadora que garantiza empleo e ingresos adecuados [38].

7. Proyecto Umbrella Europeo: Es una iniciativa destinada a la entrega de conocimiento, oportunidades de construcción, acceso a financiación y búsqueda de inversores entre otras actividades, para establecer un mercado europeo de ciudades inteligentes que ayude a fomentar las iniciativas de “Energy Union” así como ayudar a que las ciudades europeas sean las ciudades con mayor calidad de vida del mundo siguiendo las pautas de “The urban agenda”.

Ofrecen una aplicación que proporciona herramientas de evaluación independiente desarrolladas alrededor de nuevos modelos de negocio. La interfaz, guía al usuario en la búsqueda de inversores, emplazamientos para los proyectos, tipos de construcciones y presupuestos.

La iniciativa Umbrella tiene como objetivo dar soporte al 2% de los edificios de unión Europea en 5 años que proporcionarán un incremento en el mercado de eficiencia energética del 15% en el mismo periodo de tiempo y la reducción de 3096 Mton por año [39].

Actualmente, la unión europea ofrece numerosos programas e instrumentos financieros para aquellas ciudades y comunidades que deseen dar un paso adelante hacia escenarios donde primen las energías renovables y tecnologías inmutativas.

8. El proyecto Horizon 2020, tiene como objetivo la financiación de iniciativas y proyectos de valor añadido para la Comunidad Europea.

Horizon 2020 agrupa y refuerza las actividades e iniciativas financiadas por el anterior programa marco vigente, Framework Program VII, el programa marco para la innovación y la competitividad (CIP) y las acciones del instituto europeo de innovación y tecnología (EIT).

Se pretende reforzar la posición de la Unión Europea dentro del programa científico mundial, el apoyo de las tecnologías, así como el desarrollo de estas

para mejorar la competitividad e investigación sobre las cuestiones que afectan a la ciudadanía.

A nivel de financiación ofrece condiciones extraordinarias que son generalmente el 100% de los costes directos de los proyectos para todo tipo de entidades y el 70% para empresas que trabajen en las fases de innovación con un presupuesto total asignado a este proyecto de 77000 millones de euros para el periodo de 2014 a 2020.

Además de Horizon 2020, el fondo europeo estructural y de inversión (ESI), the EU competitiveness and Innovation (CIF) o COSME pueden ser combinados para apoyar el desarrollo de ciudades inteligentes.

El estudio del parlamento europeo llamado “Mapping Smart Cities in Europe”, confirma que existe un alineamiento entre los objetivos que se establecen a nivel local para llevar a cabo la transición a ciudades inteligentes y los objetivos sostenibles que propone la Unión Europea.

Si aplicamos el concepto de ciudad inteligente a nuestro continente para obtener un contexto del estado actual, nos encontramos que, el 75% de los europeos habitamos en núcleos urbanos donde se genera más del 80% del producto interior bruto de toda la UE y que casi el 90% de las ciudades con más de medio millón de habitantes son consideradas ciudades inteligentes. Estas ciudades han sido capaces de aumentar la calidad de vida de sus habitantes gracias a la planificación urbana sostenible.

En 2012, la comunidad europea, apoyo la creación de la Alianza Europea para la innovación de las ciudades inteligentes y las comunidades (EIP-SCC) con una serie de objetivos en 2020:

- Reducción en un 20% de las emisiones de CO2.
- Incremento de un 20% en el uso de la energía eléctrica renovable.
- Aumento de un 20% del transporte público sostenible en las ciudades.

Todas las ciudades que quieren formar parte de esta iniciativa se contemplan bajo esta alianza en las que participan empresas privadas, empresas de investigación y entidades

que ofrecen financiación, como el Banco Europeo de Inversión (BEI), la Comisión Europea, bancos comerciales e instituciones nacionales de financiación.

3.3. RANKING CIUDADES INTELIGENTES.

Los rankings para clasificar a las ciudades inteligentes se basan en las seis principales características que definen a una ciudad inteligente y en sus diferentes indicadores (Tabla 2 apartado 3.1.4).

Basados en esos parámetros, lidera el ranking de ciudades inteligentes global Londres como pionera en el apoyo de negocios digitales [12], seguida por Nueva York, Singapur, Seul y Helsinki.

En Europa, después de Londres y Helsinki, les sigue en el top 3 Barcelona, que ha invertido fuertemente en una infraestructura conectada por WiFi y en Internet de las cosas (IoT). Uno de sus proyectos más exitosos ha sido la instalación de luces LED con sensores de movimiento con captura de datos.

En el puesto número 4, aparece Vienna, que ha desarrollado el denominado “Aspern Smart City Research (ASCR) Project”, que recolecta, almacena e interpreta datos del distrito de Aspern para desarrollar soluciones de futuro centradas en la sostenibilidad.

Para cerrar el top 5 europeo se encuentra Ámsterdam, que gracias a su alianza con la asociación “ASC” (Ámsterdam Smart City), ha conseguido desarrollar diversos proyectos centrados en la sostenibilidad de la ciudad.

Además de las ciudades top de Europa, se han desarrollado rankings que evalúan el potencial de las medianas ciudades en Europa (entre 100.000 y 500.000 habitantes). Dicho ranking se ha desarrollado también basándose en las principales características de una ciudad inteligente y en los diversos parámetros que definen cada característica.

Los resultados del ranking se muestran en la tabla 2, en la que podemos observar cómo las ciudades escandinavas y ciudades de Austria y Benelux (Bélgica, Luxemburgo y Holanda) lideran el ranking. Las ciudades con menor puntuación en el ranking pertenecen en su mayoría a países recién incorporados a la UE [14]).

Tabla 2. Ranking de ciudades inteligentes en Europa de mediano tamaño.

cc	city	Smart Economy	Smart People	Smart Governance	Smart Mobility	Smart Environment	Smart Living	total
LU	LUXEMBOURG	1	2	13	6	25	6	1
DK	AARHUS	4	1	6	9	20	12	2
FI	TURKU	16	8	2	21	11	9	3
DK	AALBORG	17	4	4	11	26	11	4
DK	ODENSE	15	3	5	5	50	17	5
FI	TAMPERE	29	7	1	27	12	8	6
FI	OULU	25	6	3	28	14	19	7
NL	EINDHOVEN	6	13	18	2	39	18	8
AT	LINZ	5	25	11	14	28	7	9
AT	SALZBURG	27	30	8	15	29	1	10
FR	MONTPELLIER	30	23	33	24	1	16	11
AT	INNSBRUCK	28	35	9	8	40	3	12
AT	GRAZ	18	32	12	17	31	5	13
NL	NIJMEGEN	24	14	14	3	51	24	14
NL	GRONINGEN	14	9	15	20	37	13	15
BE	GENT	19	16	31	7	48	4	16
SI	LJUBLJANA	8	11	43	31	3	29	17
NL	MAASTRICHT	26	18	17	1	43	14	18
SE	JOENKOEPIG	36	10	7	34	22	26	19
BE	BRUGGE	23	20	29	18	44	2	20
NL	ENSCHDE	31	17	16	4	35	23	21
DE	GOETTINGEN	11	34	20	12	15	31	22
SE	UMEAA	39	5	10	36	46	10	23
DE	REGENSBURG	9	40	27	19	38	22	24
FR	DIJON	38	29	22	26	9	25	25
FR	NANCY	41	31	23	25	10	20	26
DE	TRIER	21	44	19	10	18	33	27
FR	CLERMONT-FERRAND	33	33	26	29	7	27	28
FR	POITIERS	48	37	28	33	8	15	29
SI	MARIBOR	49	21	37	40	2	32	30
IE	CORK	2	26	25	45	66	21	31
DE	ERFURT	32	47	21	13	21	45	32
DE	MAGDEBURG	47	50	35	22	17	39	33
DE	KIEL	45	45	48	16	23	38	34
HR	ZAGREB	34	24	32	39	36	42	35
UK	CARDIFF	13	39	44	38	60	30	36
UK	LEICESTER	3	42	49	32	64	40	37
UK	PORTSMOUTH	7	38	47	35	63	43	38
UK	ABERDEEN	10	28	42	42	67	35	39
EE	TARTU	40	15	30	47	49	60	40
ES	PAMPLONA	22	48	39	51	32	41	41
CZ	PLZEN	43	49	61	30	54	28	42
ES	VALLADOLID	44	53	34	54	24	46	43
CZ	USTI NAD LABEM	54	51	55	23	55	36	44
IT	TRENTO	20	57	24	65	30	48	45
PT	COIMBRA	52	63	54	49	16	37	46
SK	NITRA	62	46	51	52	19	44	47
PL	RZESZOW	69	19	53	41	56	50	48
IT	TRIESTE	12	61	40	67	45	57	49
ES	OVIEDO	37	55	38	44	68	34	50
IT	ANCONA	35	59	36	68	34	49	51
IT	PERUGIA	42	54	41	66	42	51	52
PL	BIALYSTOK	67	22	59	56	47	55	53
SK	KOSICE	66	43	50	48	53	52	54
RO	TIMISOARA	50	64	64	62	4	59	55
SK	BANSKA BYSTRICA	70	41	52	53	58	47	56
PL	BYDGOSZCZ	68	27	57	46	52	61	57
GR	PATRAI	59	58	46	60	5	67	58
LT	KAUNAS	55	36	66	55	27	65	59
GR	LARISA	61	60	45	63	6	66	60
HU	GYOR	46	68	62	37	41	63	61
PL	SZCZECIN	65	52	58	43	59	56	62
RO	SIBIU	57	65	60	64	13	62	63
PL	KIELCE	63	56	56	57	62	54	64
HU	PECS	56	62	65	58	65	53	65
LV	LIEPAJA	60	12	63	61	61	70	66
HU	MISKOLC	58	67	67	50	70	58	67
RO	CRAIOVA	64	66	68	70	33	64	68
BG	PLEVEN	51	70	69	69	57	69	69
BG	RUSE	53	69	70	59	69	68	70

En España.

La iniciativa +CITIES evalúa la situación actual de las ciudades inteligentes en España cuantifica su grado de inteligencia en una escala del 0 al 4 en el que un factor mayor de 2 es considerado “Inteligente”. Los datos evaluados fueron recogidos de las webs oficiales de cada ciudad evaluando todos los pilares de una ciudad inteligente.

Fue analizada una muestra de 62 ciudades con una población mayor de 50000 habitantes. El estudio representa al 35% de la población española. En los resultados se concluyó que la “Movilidad Inteligente” es el factor más importante en las ciudades inteligentes.

En la tabla 3 se recoge el top 5 de ciudades inteligentes en España según este estudio [40].

Tabla 3. Ranking de ciudades inteligentes en España [40].

Ranking Smart City	Smart City Ranking	Smart Mobility Ranking	Smart Environment Ranking
1	Barcelona	Valencia	Madrid
2	Madrid	Madrid	Barcelona
3	Valencia	Barcelona	Malaga
4	Zaragoza	Seville	Santander
5	A Coruña	Malaga	Zaragoza

Note: In bold: Cities that all axes are Smart (in Blue column) or all factors are Smart classified (in Green columns).

Por otro lado, en la figura 8 podemos ver las diferentes ciudades inteligentes repartidas por el territorio español.

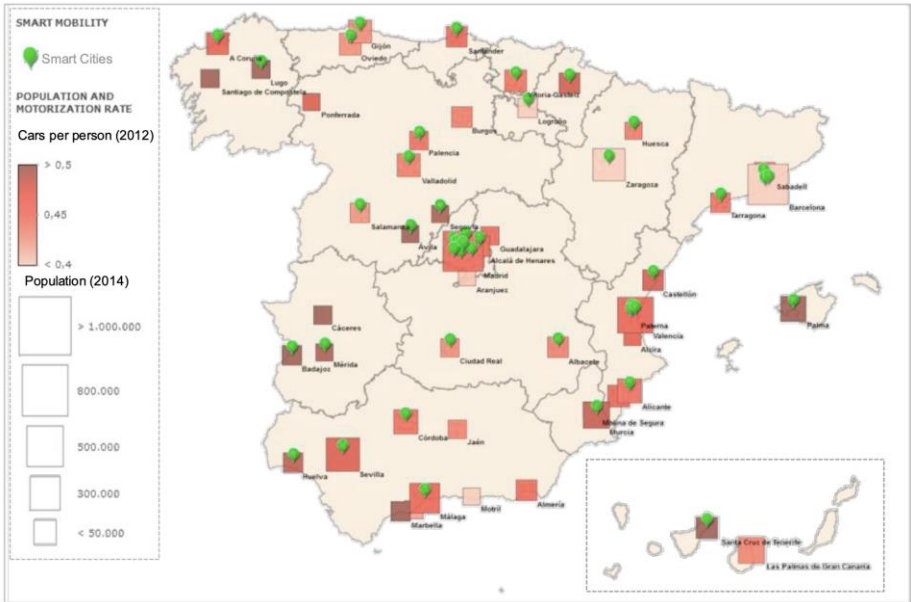


Figura 8. Los puntos verdes representan las ciudades inteligentes en territorio español y los cuadrados representan el tamaño de las ciudades en habitantes [40].

3.4. PRINCIPALES BARRERAS EN LA TRANSICIÓN A UNA CIUDAD INTELIGENTE.

En la transición hacia una ciudad inteligente encontramos distintas barreras que pueden ser a nivel de políticas locales o nivel de políticas europeas.

- **Nivel inapropiado de competencias locales:** Muchas ciudades europeas carecen de las competencias necesarias para administrar correctamente distintas actividades y áreas que imposibilitan la transición hacia una ciudad inteligente. Además, un gobierno multinivel donde la toma de decisiones se divide a nivel local y regional conduce a negociaciones largas y retrasos en la implementación de proyectos.
- **Nivel inapropiado de capacidad administrativa local:** Desarrollos globales en las áreas de adaptación al cambio climático y mitigación requieren una gestión eficiente por parte del gobierno local. Se requiere que los organismos comprendan la importancia de interpretar indicadores claves y las tecnologías disponibles. Además, se requiere que haya coordinación entre los distintos departamentos involucrados además de altos niveles de integración ICT.
- **Altas cargas administrativas:** Estas cargas en ocasiones representan factores inhibidores para el desarrollo de proyectos energéticos. Esto es debido al elevado número de permisos y aprobaciones que deben obtenerse antes de la iniciación de un proyecto. Estos permisos dependen de numerosos organismos públicos. Dependiendo del tipo de proyecto energético se requieren estudios de contaminación acústica, visual, espacial o ecológica entre otras que causan retrasos si el proceso de autorización es ineficiente o fragmentado en distintos departamentos.
- **Necesidad de innovación en los procesos de contratación:** En la mayoría de los casos, las autoridades carecen de estándares de certificación que constituyen una importante barrera para obtener los permisos requeridos para realizar un proyecto. Para poder solventar esta barrera, las autoridades necesitan ser más

flexibles para facilitar las inversiones. Las reglas de contratación pública deber estar alineadas con las necesidades de soluciones innovadoras.

- **Falta de asesores/consultores:** La falta de consultores se ha identificado como un problema considerable cuando se introducen nuevas tecnologías. La mayor involucración de empresas externas que colaboren y asesoren en la implementación de nuevos proyectos garantiza un mejor resultado. Este problema es mencionado en el documento SCIS. Los proyectos de ciudades inteligentes son revisados por asesores y consultores en la materia que hacen seguimiento de las implementaciones y actualizan las fases de los proyectos para garantizar los objetivos.
- **Financiación:** Las autoridades locales, regionales y nacionales han sufrido grandes problemas económicos especialmente desde la última crisis europea. El problema también se extiende al sector privado que ha reducido su inversión en innovación debido a incertidumbres económicas en consecuencia a la situación económica en Europa. Estos problemas financieros constituyen una de las principales barreras a la hora de implementar nuevos proyectos relacionados con tecnologías renovables en núcleos urbanos y la mejora de eficiencia energética en edificios que permiten la transición hacia una ciudad inteligente. Para superar esta barrera, los estados miembros y autoridades locales deben ser capaces de combinar sus instrumentos financieros con la ayuda de la comisión europea.
- **Regulación a nivel nacional:** Permite eliminar factores y barreras para una satisfactoria implementación de proyectos de ciudades inteligentes. Entendemos como regulación, al conjunto de leyes y reglas fijadas por los organismos de gobierno para garantizar el control de los proyectos.
- **Factores estructurales:** el tamaño de una ciudad es importante, debido a que ciudades de mayor tamaño atraen mayor capital humano y suelen emplear mejores sistemas de infraestructura de suministro de agua, electricidad y telecomunicaciones. Las ciudades de mayor tamaño también tienen más

usuarios que emplean sistemas de ICT, lo que favorece un avance más rápido. Sin embargo, el gran tamaño también puede suponer una barrera, ya que las pequeñas ciudades pueden ser mejores para comenzar proyectos piloto porque necesitan menos inversión en infraestructura, por este motivo, las ciudades pequeñas son más atractivas para los vendedores que desean experimentar nuevas tecnologías. Además, las ciudades de mayor tamaño y con mayor densidad demográfica suelen poseer economías más desequilibradas, lo que da lugar a que sean menos inteligentes, y, por lo tanto, también poseen un alto potencial para desarrollar iniciativas basadas en sistemas de ICT para erradicar problemas de congestión.

- **Desarrollo económico:** el producto interior bruto (PIB) de una ciudad y su tasa de crecimiento puede influenciar el desarrollo de las iniciativas de las ciudades inteligentes por diferentes motivos relacionados principalmente con las condiciones económicas locales y la tasa de crecimiento. Las ciudades y los países con una mayor tasa de crecimiento de PIB poseen una mayor expansión económica, lo que influye en los recursos disponibles para invertir en nuevos servicios de transporte, infraestructuras de telecomunicaciones y educación. Además, las ciudades con mayor desarrollo económico parecen más atractivas para las personas que desean incrementar su estándar de vida.
- **Desarrollo tecnológico:** este desarrollo y su difusión, siguen una dinámica basada en un camino predeterminado. Esto significa que las compañías y organizaciones que han comenzado a invertir antes en tecnología poseen unas condiciones más favorables para desarrollar o adoptar tecnologías emergentes que correspondan a la misma trayectoria. El presupuesto para investigación y desarrollo en instituciones públicas como privadas también representa un factor importante para mejorar el desarrollo de nuevas tecnologías y capital humano. Además, grandes inversiones en I+D reflejan un mayor desarrollo en cuanto a capital humano y también, las ciudades con mayor avance tecnológico atraen en mayor medida a más iniciativas de ciudades inteligentes.

- **Otros factores:** las oportunidades de una ciudad de incrementar su nivel de inteligencia también dependen de las variables específicas de cada ciudad que van más allá de la tasa de crecimiento económico, tecnológico o medioambiental. Estas variables consisten en variables institucionales (liderazgo político, tipos de estrategia en las agendas políticas, riesgo político y nivel de corrupción entre otros) que pueden influenciar en la capacidad que tiene una ciudad inteligente de poder implementar o acoger futuros proyectos de ciudades inteligentes. Un ejemplo es la ciudad de Hong Kong, en la que se encuentran las condiciones más favorables para establecer una ciudad inteligente ya que posee un gobierno centralizado que permite que las decisiones para inversiones públicas sean más rápidas, una alta tasa de crecimiento económico, un bajo riesgo político y condiciones meteorológicas únicas. [41], [42].

3.5. ECONOMÍA CIRCULAR Y CIUDADES INTELIGENTES.

Se entiende por economía circular al sistema que aprovecha los recursos donde prima la reducción de los elementos: minimizar la producción al mínimo indispensable y cuando sea necesario hacer uso del producto, apostar por la reutilización de los elementos que por sus propiedades no pueden volver al medio ambiente. Además, pretende motivar el uso de energías renovables, eliminar el uso de productos químicos tóxicos y eliminar los desechos mediante un diseño inteligente.

Este término va más allá de la mecánica de producción y consumo de bienes y servicios en las áreas que pretende redefinir (como por ejemplo la reconstrucción de capital, incluyendo social y medioambiental, y el cambio desde el consumidor al usuario). El concepto de economía circular se basa en el estudio de sistemas no lineales, en particular los sistemas biológicos. Una consecuencia derivada del uso de sistemas vivos o biológicos es principalmente la optimización de los sistemas más que de los componentes, lo que implica la necesidad de una minuciosa gestión del flujo de material. Este flujo puede ser de dos formas: nutrientes biológicos que pueden volver a

entrar en la biosfera y en forma de nutrientes técnicos que son diseñados para circular a alta calidad sin entrar en la biosfera.

Por ello, la economía circular aboga por la necesidad de un modelo de ‘servicio funcional’ en el que los productores consigan implantar el uso prolongado del producto mediante la venta del uso de los productos y no mediante la venta para uso de una sola vez o de una sola forma [43] .

Los conceptos de economía circular ya han sido puestos en práctica por varias empresas como por ejemplo Michelin o Ricoh, aparte de muchas otras. En el caso de Michelin, la marca pionera en neumáticos tiene en práctica un programa para pagar por kilómetros que permite optimizar el rendimiento de los grandes camiones, por ejemplo, manteniendo un control del uso de vida del neumático y recogiendo estos neumáticos en el momento correcto que les permita extender su vida técnica (como recauchándolos), así como la reintegración adecuada del material en la etapa final de su vida.

Por otro lado, Ricoh que es un proveedor de servicios de impresión, soluciones de oficina y de IT (Information technology), tiene un programa denominado ‘GreenLine’ que tiene como objetivo minimizar el impacto medioambiental de los productos. Las copiadoras e impresoras que pertenecen a su servicio de leasing y que son devueltas son inspeccionadas, desmanteladas y se someten a un intensivo proceso de renovación antes de volver a entrar en el mercado con la etiqueta ‘GreenLine’.

A parte de estas empresas, existen otras muchas empresas que están involucradas en implantar el sistema de economía circular. En 2018, compañías como World Economic Forum, World Resources Institute, Philips, Ellen McArthur, United Nations Environment Programme, y otros 40 asociados lanzaron la plataforma para acelerar la economía circular (PACE). Este programa se centra en tres áreas principales: desarrollar modelos de finanzas mezcladas para proyectos de economía circular, especialmente desarrollando economías emergentes, crear políticas que aborden las barreras existentes para poder avanzar hacia la economía circular y promover la colaboración público-privada para estos fines [44].



Figura 9. Esquema de flujo de la economía circular [45].

En las ciudades es donde se encuentra la mayor parte de la población y también donde se producen la mayoría de los residuos y es aquí donde la economía circular juega un papel decisivo. La implantación de la economía circular en las ciudades se basa en cinco pilares fundamentales basados en su mayor parte en los principios comentados anteriormente. Los cinco pilares fundamentales son:

→ Inputs sostenibles basados en fuentes de energía renovables. Almacenamiento y tecnologías eléctricas que hacen posible el cambio hacia una electricidad controlada por energías renovables.

→ Incremento de la vida del producto garantizando su mejor rendimiento con soluciones como diseño modular, monitorización por drones y mantenimiento predictivo.

→ Producto como servicio. Vender al consumidor un servicio y no un producto significa proveerles con solo lo que quieren y necesitan, sin transferirles la propiedad del producto a ellos. De esta manera, múltiples consumidores pueden usar el mismo bien, dejando la gestión y el mantenimiento al operario. Un ejemplo sería la red de cargadores para coches eléctricos que se están instalando en Italia: infraestructura que se utiliza por todos los usuarios de los vehículos utilizando un punto de vista de producto como servicio (PAAS).

→ Plataformas compartidas creando micro redes inteligentes compartidas por múltiples usuarios que pueden depositar energía, auto producir con energías renovables, y retirarla para su consumo. Compartir tiene el beneficio de optimizar el uso de bienes y productos a través de una plataforma compartida, que va más allá de la relación entre el consumidor y la compañía.

→ Final de ciclo. Rescatar el valor residual de los activos es el paso final en los modelos de economía circular [46].

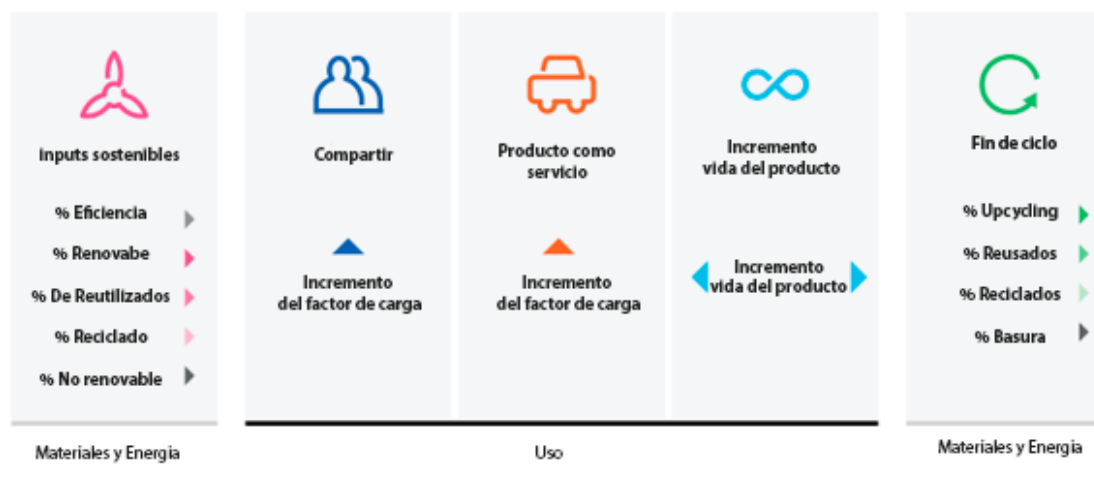


Figura 10. Principales componentes de la economía circular en una ciudad [46].

Las actividades relativas a la economía circular en una ciudad inteligente son las siguientes:

- La explotación de los recursos digitales e informáticos aplicados a las organizaciones y sistemas que gestionan la ciudad con el objetivo de mejorar y facilitar la vida a los ciudadanos con unos servicios más eficientes.
- Eficiencia y racionalización en el gasto de recursos como el agua o la energía utilizando redes de distribución inteligentes, equipos y sistemas de bajo consumo, así como la utilización de energías renovables impulsando también las construcciones sostenibles que ayuden a seguir este principio.
- Diseño de un sistema de movilidad, transporte y logística utilizando las tecnologías actuales para su eficiente gestión que permita tráfico regulado con sensores digitales y monitorización en tiempo real.
- Utilizar técnicas de geolocalización y sensores para la gestión de residuos con un plan de acción definido y eficiente que comprenda la recogida con vehículos más respetuosos con el medio ambiente, el procesamiento en plantas donde se apliquen métodos de industria 4.0 y reutilización de todos los residuos y materiales generados en la urbe además de la utilización de

herramientas de gestión y análisis de datos aplicados a esta actividad que permitan mejorar el flujo de trabajo.

- Reducir la emisión de agentes contaminantes desarrollando planes de acción, sistemáticas y herramientas que garanticen la sostenibilidad en la ciudad.

Al desarrollar esta economía, podemos encontrarnos los siguientes problemas:

- Es difícil poder reutilizar todos los materiales de un producto y en muchos casos no se puede realizar indefinidamente.
- Disponibilidad de las tecnologías necesarias para reutilizar y reciclar productos eficientemente.
- Interés individual antes que colectivo.
- Es difícil de combinar el desarrollo de la economía circular con el crecimiento económico.

3.6. EDIFICIOS INTELIGENTES.

3.6.1. DEFINICIÓN DE EDIFICIO INTELIGENTE.

Dentro del desarrollo de una “Ciudad Inteligente”, uno de los elementos más importantes a destacar, es el urbanismo inteligente mediante la construcción de los denominados “Edificios Inteligentes”

Podemos definirlos como aquellas construcciones que desde su diseño incluyen la automatización de sus sistemas además de ser respetuosos con el medio ambiente ya sea teniendo en cuenta el lugar de su construcción como favoreciendo el ahorro energético en su construcción, mantenimiento y posteriormente durante su utilización.

Es decir, un edificio inteligente es un súper sistema interconectado con otros sistemas que controlan ese edificio, como Internet, que conecta los ordenadores individuales a una super red muy amplia [47] [48].

Podemos considerar un edificio inteligente cuando cumple los siguientes principios:

- Flexibilidad:** El edificio debe ser capaz de adaptarse a diferentes usos y propósitos para satisfacer las necesidades de sus usuarios.
- Seguridad:** Debe proporcionar máxima seguridad a sus usuarios tanto estructuralmente como controlando el flujo de personas en el interior y alrededores del inmueble.
- Economía:** Se debe considerar la inversión inicial, así como los gastos de mantenimiento y operaciones y estos, deben ser razonables y perfectamente optimizados.
- Automatización:** Se debe equipar al edificio que permitan el máximo aprovechamiento de sus recursos mediante sistemas automatizados que permitan optimizar operaciones y recursos.
- Predicción y prevención:** Dotar al inmueble de un eficiente plan de mantenimiento preventivo y predictivo que economice la operación, optimice el rendimiento y suprima los tiempos muertos ahorrando dinero y tiempo.

Además, los edificios inteligentes deben satisfacer no solo las necesidades de los ocupantes, sino también de los sistemas energéticos. Es decir, los ocupantes se han de beneficiar de un sistema energético seguro y tecnologías inteligentes que se adapten a sus necesidades específicas y a sus capacidades. Pero, por otro lado, los sistemas energéticos se beneficiarán de edificios más flexibles y eficientes que puedan tolerar los efectos del incremento de producción de energías renovables. En la figura 11 se resumen los beneficios que aporta un edificio inteligente a los ocupantes y al sistema energético, así como los retos a los que se enfrentan. A parte de beneficiarse de un sistema energético seguro y de tecnologías inteligentes, los ocupantes de edificios inteligentes, éstos aportan salud y confort, modelos de negocio innovadores, una reducción del mantenimiento y costes operativos debido a sus sistemas inteligentes, mayor productividad, etc. Por otro lado, para los sistemas energéticos, los beneficios incluyen una reducción del consumo de energía, una integración de vehículos eléctricos, un incremento de la integración de energías renovables y también una mayor productividad.

A parte de los beneficios que un edificio inteligente aporta a sus ocupantes y a los sistemas energéticos, éstos aumentan el valor del edificio, adquiriendo un mayor interés en el mercado. Asimismo, todos los sistemas funcionan con internet lo que facilita su instalación y no afecta al acabado del edificio. También, estos edificios integran medidas inteligentes para incrementar la seguridad, el acceso, así como una controlabilidad remota. A parte de los ya mencionados beneficios, podemos distinguir cuatro beneficios fundamentales de un edificio inteligente:

- Confort de los usuarios: Los edificios inteligentes “aprenden” del comportamiento de sus habitantes e intentan maximizar su confort.
- Ahorro de energía: Mediante los sistemas instalados es posible ahorrar grandes cantidades de energía.
- Operatividad dinámica: Los edificios inteligentes pueden ahorrar una gran cantidad de tiempo automatizando rutinas diarias.
- Seguridad: A través de sus sistemas los edificios pueden detectar fuego, agua y fugas de gas. Poseen un sistema de diagnóstico que avisa a sus usuarios cuando un equipo presenta algún fallo o su rendimiento disminuye.
- Salud y cuidados: Los edificios inteligentes priorizan la salud de sus usuarios controlando la temperatura, la intensidad de la luz o parámetros del aire acondicionado.



Figura 11. Características de los edificios inteligentes.

COMPONENTES DE UN EDIFICIO INTELIGENTE.

¿Que distingue un edificio inteligente de uno normal?

- 1. Hardware:** Los edificios inteligentes reconocen que está pasando en su entorno. Para este propósito, están equipados con una serie de sensores y lectores. Gracias a ello, el edificio puede detectar la ocupación de una sala, la intensidad de la luz, temperatura interior y exterior, niveles de dióxido de carbono o incluso el nivel de ruido.
- 2. Software:** Sensores y lectores proporcionan los datos. Un edificio inteligente extrae la información útil, toma decisiones e incluso predice el estado del entorno y las actividades de sus usuarios.
- 3. Red:** Para permitir al edificio actuar como uno, es necesaria una red que conecte todos los dispositivos entre ellos con el software.

Ejemplos de Tecnologías eficientes.

-Sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado. Estos sistemas consumen al menos un 40% de la energía total de un edificio [49]. El uso de un

software en edificios inteligentes que es capaz de interpretar información de varios sensores de calefacción, ventilación y aire acondicionado en tiempo real y permite monitorizar y controlar esos sistemas, lo que limita el consumo de zonas desocupadas, detecta y diagnostica fallos y reduce el consumo durante horas punta de alto consumo energético. Un ejemplo de estos sistemas es un sensor de presión estática en conductos que mide la cantidad de resistencia contra el flujo de aire mediante un conducto. Un sensor como este, contiene un elemento sensitivo que reacciona a cambios físicos, en este caso a presión estática. El sensor transmite una señal eléctrica que indica un cambio en la presión estática en un conducto. Los operarios del edificio pueden usar las lecturas de presión estática para controlar el sistema y poder operar a una presión estática en ese conducto particular, incluso pueden usar ese sensor para identificar fallos del sistema. Un ejemplo práctico es el sistema completo de ventilación del laboratorio Irvine. Los laboratorios consumen gran cantidad de energía debido a los requerimientos de ventilación y temperatura tan estrictos, muchas veces tienen que funcionar 24/7, a pesar de que estén desocupado. En este laboratorio se instalaron sensores y controladores inteligentes que permitieron obtener medidas de contaminación en el aire. Esto redujo el número de cambios de aire por hora a un tercio durante el tiempo de operación normal y hasta la mitad cuando no había actividad en el laboratorio [50].

-Cargas con enchufes. Las cargas con enchufes constituyen la energía que se consume por los equipos conectados a enchufes eléctricos. Estos constituyen una gran parte del consumo y en los edificios inteligentes se propone utilizar enchufes inteligentes que reemplacen los existentes y que se comuniquen con diferentes controladores que permitan apagar los equipos que no se están utilizando o que están completamente apagados que aun así consumen energía.

En una demostración en 2013 del laboratorio nacional de energías renovables en Hawái se instalaron enchufes con controles basados en los horarios en un edificio de oficinas de 18.800 metros cuadrados. La tasa de ocupación de la sala se controlaba mediante sensores y los equipos conectados a enchufes se apagaban basados en la ocupación de la sala, esto redujo hasta un 8% de la energía total de la sala.

-Iluminación. La iluminación inteligente consiste en controles avanzados que incorporan control de luz diurna y de ocupación para poder eliminar los lugares que tienen iluminación de más. Los sistemas de control de iluminación pueden ser controlados sin cable y monitorizados mediante un software de gestión de la iluminación.

-Ventanas inteligentes. Los sistemas de ventanas inteligentes permiten controlar la cantidad de calor solar y luz diurna que entra en el edificio. Este sistema consiste en un sistema activo y pasivo de acristalamiento que permite responder a los cambios de temperatura y de luz solar y además poseen un autocontrol capaz de autorregularse en función de estos niveles de luz solar y calor.

-Optimización de sistemas automatizados. Los sistemas tradicionales de automatización de edificios (BAS) se basan en horarios fijos para las operaciones en ese edificio, mientras que la optimización de sistemas automatizados (ASO) se basan en una retroalimentación en tiempo real. Los sistemas ASO utilizan tecnologías de la información y comunicación para recoger y analizar datos de los sistemas operativos de los edificios y del rendimiento energético para poder hacer cambios anticipados en las operaciones que se basan en factores externos como por ejemplo la predicción del tiempo, las tasas de utilización, los patrones de ocupación del edificio, etc. Los sistemas basados en monitorización remota basados en los datos almacenados en la nube están ganando popularidad en los últimos años. Además, este enfoque permite a los operadores de edificios (o

proveedores de servicios de energía de terceros) poder monitorizar el rendimiento del edificio a través de plataformas de gestión energéticas. Un ejemplo de estos sistemas sería el uso de equipos con mantenimiento predictivo, como ascensores con este sistema instalado, que permite predecir fallos en el sistema para poder evitar futuros fallos que tengan que parar el funcionamiento del equipo.

-Operaciones humanas. Los operadores pueden controlar un edificio inteligente mediante pantallas de ordenador y programas que permitan acceder a las diferentes operaciones del edificio y el uso de energía y que sean de fácil uso.

Estas pantallas permiten al operador no solo analizar todos los datos del edificio de una manera centralizada, sino también recibir alertas en posibles fallos detectados por el sistema ASO. Además, tanto los operadores como el personal de tecnología de la información han de seguir una formación especializada en análisis de datos, tecnología inteligente y gestión de redes. Los ocupantes del edificio pueden usar aplicaciones móviles para controlar algunas de las funciones del edificio como la iluminación. Estas aplicaciones también pueden contener información sobre el uso de energía de cada ocupante y recomendaciones de cómo reducirla.

-Distribución de recursos energéticos (DER). DER consiste principalmente en la generación de energía y en instalar sistemas de almacenamiento de energía cerca de los puntos de uso para proveer energía independiente de la red. Un ejemplo de esto sería combinar calor, potencia, energía solar fotovoltaica y otras fuentes de energía renovables con baterías y almacenamientos térmicos. Este sistema se basa en la comunicación entre los equipos de control para una distribución de energía más eficiente, añadiendo convertidores para aportar una funcionalidad más inteligente. Por ejemplo, los convertidores están controlados mediante un software y ayudan a gestionar la generación de energía y su almacenamiento en ese mismo lugar [50].

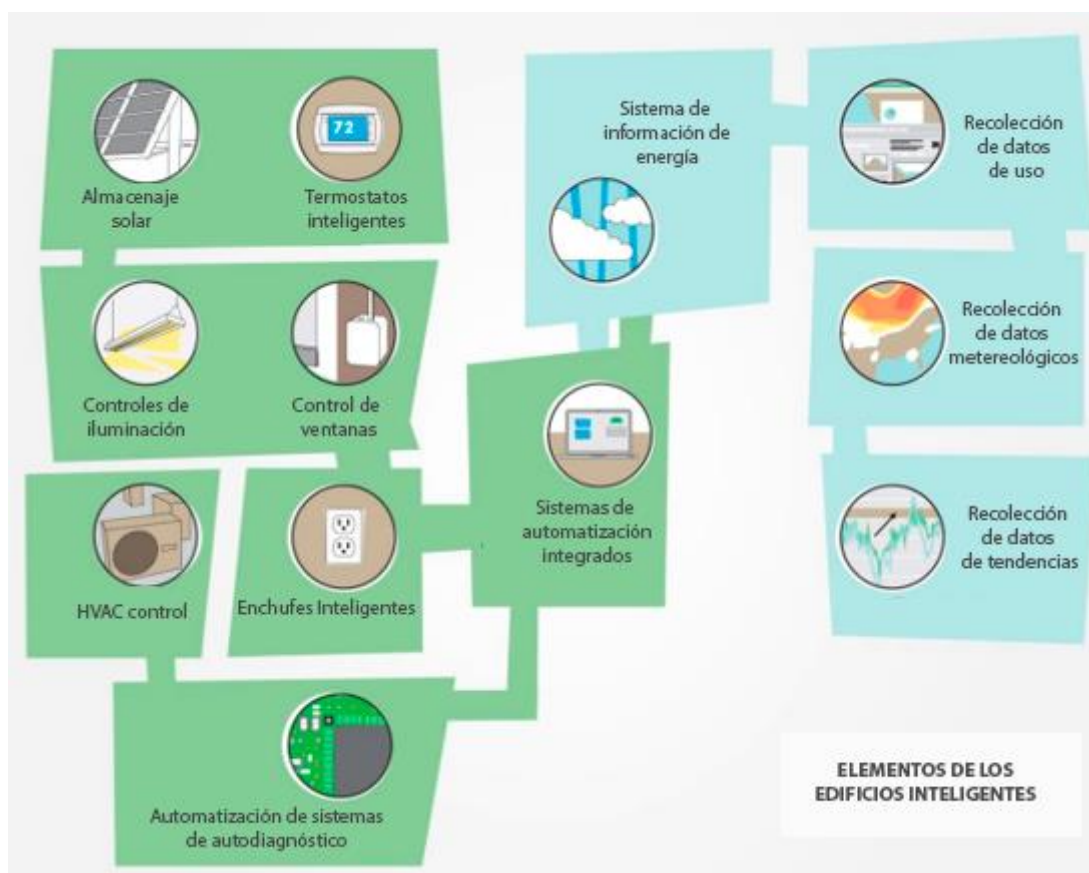


Figura 12. Elementos que componen las tecnologías de un edificio inteligente [50].

AHORRO ENERGÉTICO MEDIANTE EL USO DE TECNOLOGÍAS INTELIGENTES EN EDIFICIOS INTELIGENTES.

En la Tabla 4 se muestra lo que contribuye en ahorro energético cada componente inteligente que puede tener un edificio inteligente.

Tabla 4. Ahorro energético mediante tecnología inteligente. Adaptado de [50].

Sistema	Tecnología	Ahorro energético
Sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado.	Unidad de frecuencia variable.	15-50% de energía de bomba o motor.
	Termostato inteligente	5-10% del total.
Cargas con enchufes	Enchufes inteligentes	50-60%
	Tomas de corriente avanzadas	25-50%
Iluminación	Controles inteligentes de iluminación.	45%
	Sistema de gestión de iluminación basado en la web.	20-30%
Ventanas inteligentes	Sistema automatizado de opacidad.	21-38%
	Cristales inteligentes	20-30%
Automatización del edificio	Sistemas como BAS o mantenimiento predictivo.	15-20% del total del gasto del edificio.
Analíticas	Sistemas de información de energía basados en datos almacenados en la nube.	5-10% del total del gasto del edificio.

Además, los edificios inteligentes ahorran mucha más energía mediante los sistemas de automatización y optimización. La mejora de un solo componente o un sistema aislado puede ahorrar entre un 5 y un 15%, mientras que un edificio inteligente entero con sistemas integrados puede ahorrar entre un 30 y un 50% más que otros edificios no inteligentes y en cifras, este porcentaje puede llegar a suponer hasta 2.37kWh/sq.ft. Como podemos ver en la tabla 5, en función del edificio comercial y el mecanismo se pueden conseguir diferentes cifras de ahorro energético.

Tabla 5. Ahorro en diferentes edificios inteligentes en función de la tecnología inteligente aplicada. [50]

Tipo de edificio	Superficie (m2)	Tecnología aplicada	Consumo medio (Kwh/año)	Ahorro	Media de ahorro (Kwh/año)
Educación	100,000	-Sensores de ocupación -Controles de iluminación -Sistema de gestión	190,000	11%	20,900
Oficinas	50,000	-Controles de iluminación -Control remoto de HVAC	850,000	23%	200,000
Hoteles	200,000	-Control de ocupación de habitaciones	4,200,000	6%	260,000
Laboratorios	70,000	-Sensores de calidad de aire -Control de ocupación -Controladores de ventilación a tiempo real	980,000	40%	390,000
Hospitales	120,000	-Control de iluminación + LED -Paquete de análisis de datos	7,900,000	18%	1,400,000

Ejemplo práctico de edificio inteligente. Sede de Microsoft en Redmond, Washington.

Un ejemplo práctico es la sede inteligente de Microsoft, que se basa en la creación de edificios inteligentes implementados a gran escala en Redmond, Washington. Los edificios de este campus contienen sensores, equipos de calefacción, ventilación y aire acondicionado y sistemas de automatización de diferentes fabricantes. En total, estos edificios tenían siete tipos diferentes de sistemas de gestión con diferentes lenguajes. En 2011, el equipo de Microsoft creó un experimento piloto con un programa de software analítico (The Smart Building Solution) que permitía hablar a cada uno de estos diferentes sistemas de gestión. Dicho software adquirió, agregó y analizó los datos energéticos de los diferentes edificios para generar un resultado estandarizado sobre el que fuera más fácil actuar. Cuantos más equipos se conectaban, más datos eran recibidos y los ingenieros podían al mismo tiempo mejorar las operaciones para poder detectar patrones que antes no se podían detectar en equipos simultáneos como los problemas de calefacción, ventilación o de aire acondicionado.

Como se puede observar en la figura 13, los equipos y los diferentes componentes tienen sensores que recogen y envían los datos de rendimiento al sistema de gestión. Después, el software analítico se comunica con los siete sistemas diferentes e integra los datos de los diferentes edificios. Estos datos se combinan con otra información como la información del tiempo, la ocupación, y ocasiones especiales que pueden alterar el uso de energía como en periodos de vacaciones, etc. Este software recoge más de 500 millones de datos cada 24 horas que son analizados y transmitidos en forma de informes a las centrales de operaciones. Estos informes se centran en tres áreas principales:

-Monitorización continua: mediante el análisis de datos continuo se pueden detectar fugas, fallos de sensores, etc., en tiempo real. Analizando los datos en largos periodos de tiempo se pueden encontrar patrones para poder identificar más anomalías que podrían hacer un sistema convencional. Un ejemplo que encontró Microsoft fue un fallo en la válvula que enfría el agua. La válvula estaba siempre abierta un 20%, desperdiciando varios miles de dólares anuales en la energía derivada a enfriar el agua. Este sistema no hubiera sido visible, pero gracias al sistema de software se pudo ver y corregir de inmediato [51].

-Priorización: el software prioriza los fallos estimando el coste de ineficiencia para que los ingenieros puedan centrar más su tiempo y esfuerzo en las tareas más importantes.

-Gestión energética: con la ayuda analítica del software, los ingenieros pueden optimizar mejor los sistemas principales como la calefacción, el aire acondicionado, la ventilación y la iluminación. Estos softwares pueden analizar horarios y puntos concretos del día para identificar los equipos que están derrochando más energía y ayudar a reducir la energía que proviene de los enchufes como de ordenadores, impresoras o aparatos de cocina en horarios donde la ocupación es reducida o nula.

Con esta iniciativa, Microsoft es capaz de ahorrar más de 4 kilo vatios hora (kWh) cada año [50].

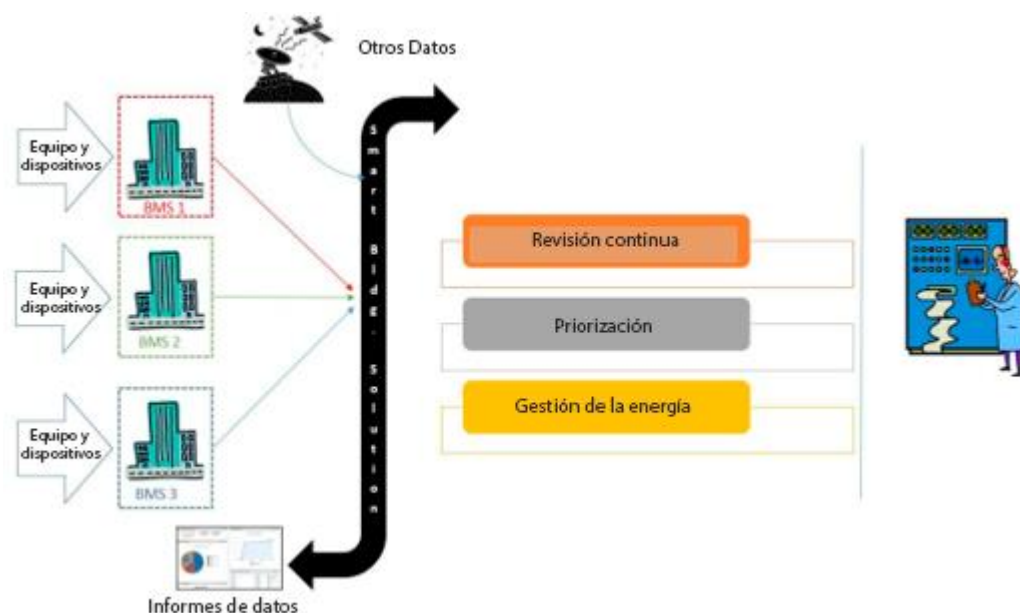


Figura 13. Gráfico basado en Accenture 2011 [50].

Barreras de los edificios inteligentes.

La adopción de tecnologías inteligentes en los edificios es todavía lenta, debido a su desconocimiento en muchas ocasiones y en otras ocasiones porque estas nuevas tecnologías pueden parecer demasiado complicadas. La falta de financiación es otra de las barreras más importantes que estos edificios enfrentan, así como la falta de incentivos a los propietarios de los edificios inteligentes.

Otra barrera es la falta de interoperabilidad de los sistemas conectados en los edificios inteligentes. Aunque existen algunos protocolos que permiten la comunicación entre los sistemas de diferentes fabricantes como BACnet o Lonworks, no existe un protocolo estándar que permita conectar todos los sistemas y equipos inteligentes. Algunos proyectos pretenden poner solución a esto, como Open Connectivity Foundation (OCF) que permite gestionar los estándares de IoT y las diferentes certificaciones, así como el Proyecto Haystack que ha desarrollado una lista común de convenciones de nombres

para los equipos inteligentes para asegurar que todos los equipos trabajen en el mismo idioma [50].

4. MOVILIDAD Y MEDIOS DE TRANSPORTE EN CIUDADES INTELIGENTES.

4.1 INTRODUCCIÓN A LA MOVILIDAD Y MEDIOS DE TRANSPORTE.

Como adelantábamos en la introducción de este proyecto, el aumento de la población y de las urbes, hacen del transporte y la movilidad uno de los pilares fundamentales dentro de una ciudad inteligente. Se trata de un concepto que se basa principalmente en la recogida de miles de datos y la detección de patrones mediante el internet de las cosas y Big Data que combinado con sistemas que analizan esta información y toman decisiones basadas en ellas permiten mejorar la movilidad y aparcamiento, reducir el tráfico y gestionar estaciones y horarios, los cuales, son unos de los mayores retos a los que se enfrentan las ciudades de hoy en día.

La congestión impacta diariamente la vida de los ciudadanos, así como los negocios y visitantes de las urbes. La solución a estos problemas pasa por conseguir unas infraestructuras y sistemas inteligentes que nos permitan reducir el tráfico y optimizar el uso de los medios de transporte disponibles, además, cada vez se confía más en la tecnología para gestionar las infraestructuras como medio para mejorar la seguridad.

El transporte inteligente se desarrolla a partir de una infraestructura inteligente multi modal que incluya la integración de sistemas de intercambio de datos que permita automatizar sistemas y proporcionar a los usuarios información en tiempo real [52].

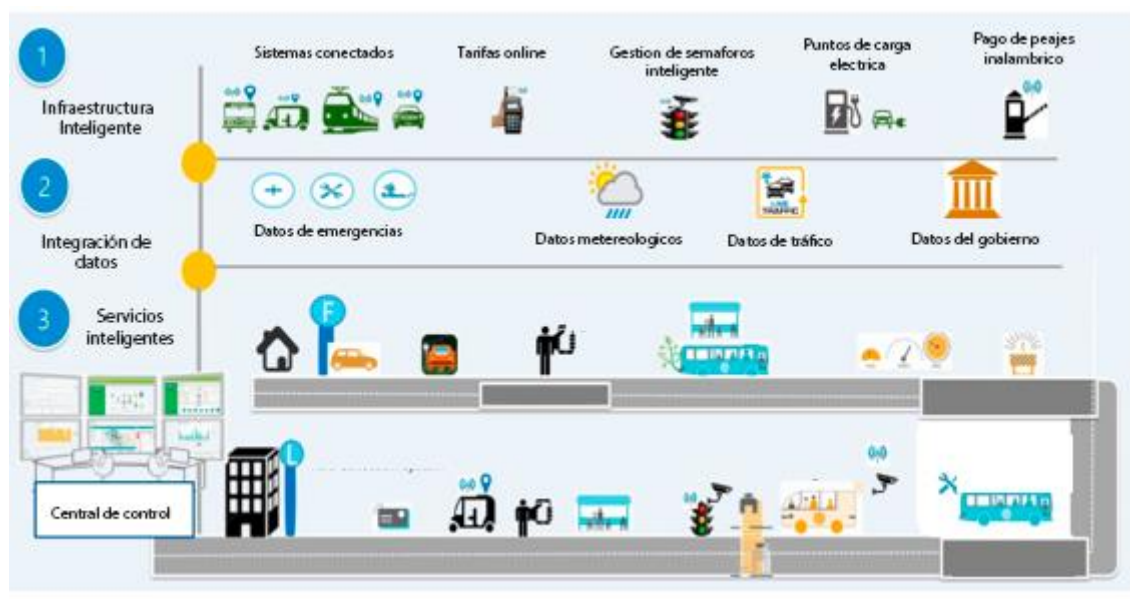


Figura 14. Transporte inteligente [52].

4.2. SISTEMAS DE TRANSPORTE INTELIGENTE

Las ciudades inteligentes aprovechan la tecnología para desarrollar sistemas de transporte más fluidos y conectados basados en:

- Servicios de movilidad multidisciplinares:** Tratan de resolver los problemas asociados a la densidad poblacional de una urbe para construir un sistema más eficiente y conveniente. Ofrece a los usuarios diferentes modos de transporte y que aprovechando el «boom» de los Smartphone, nos permite acceder a toda la información incluso realizar pagos vía app.
- Gestión de tráfico inteligente:** Son sistemas capaces de recopilar datos e información para construir modelos que garantizan la eficiencia de los sistemas de transporte mejorando la respuesta en regímenes de alta demanda.

La siguiente tabla (tabla 6), muestra las diferentes definiciones que organizaciones y países han adoptado para definir los sistemas de transporte inteligentes.

Tabla 6. Definiciones de transporte inteligente en diferentes ciudades u organizaciones.

Organización	Definición
Union Europea	Aplicación de las tecnologías de la información y comunicación al transporte.
European Road Transport Telematics Implementation Coordination Organization	Sistema que integra la tecnología de información y comunicación a infraestructuras, vehículos y usuarios.
Reino Unido	Combinación de sistemas de comunicación e información que permite la provisión online de información en todas las áreas de la administración pública y privada.
European Telecommunications Standards Institute	Telemática y todos los tipos de comunicación en vehículos, entre vehículos y entre vehículos y localizaciones fijas. No exclusivo a transporte de carretera.
Japón	Sistema basado en la tecnología de la información líder para apoyar el transporte confortable y eficiente de personas y bienes que garanticen el confort, la seguridad y la eficiencia.
Canadá	Aplicación de avanzadas y emergentes tecnologías (ordenadores, sensores, controles y dispositivos electrónicos) en sistemas de transporte para salvar vidas, tiempo, dinero y energía.
República de Korea	Sistema de transporte que mejora la eficiencia y seguridad mediante sistemas de gestión automatizados que proporcionan datos de transporte aplicados a vehículos y otros medios
Filipinas	Aplicación de la computación, electrónica, tecnologías de la información y comunicación para resolver problemas en todos los sectores del transporte.
China	Nueva generación de sistemas de transporte para mejorar la seguridad, eficiencia, accesibilidad y sostenibilidad en el transporte mediante la aplicación de tecnologías de la información avanzadas.

4.2. SISTEMAS DE TRANSPORTE INTELIGENTE Y EL DESARROLLO SOSTENIBLE

Los sistemas de transporte inteligente contribuyen a la sostenibilidad a través de tres puntos claves:

-Gestión del tráfico: Permiten maximizar la eficiencia en la gestión del tráfico evitando las congestiones y como consecuencia reduciendo los tiempos de viaje y espera.

Otra de las formas de mejorar el tráfico es proporcionando a los usuarios información en tiempo real que les permite gestionar sus rutas o incluso adaptar las velocidades a las necesidades. Mejorar la eficiencia en la gestión del tráfico también permite a los gestores responder rápidamente a incidentes o averías o incluso prevenirlas.

-Emisiones de carbono: Los sistemas de transporte inteligente inducen a una eficiencia en la fluidez de los sistemas y facilitan el uso del transporte público lo que se traduce en una reducción de las emisiones de CO₂.

Todos los sistemas de transporte generan grandes cantidades de elementos contaminantes. Datos recogidos por la Agencia Internacional de Energía (IEA) sugieren que los sistemas de transporte son los responsables del 22% de las emisiones de CO₂. Se espera que las emisiones de carbono se reduzcan un 12% en el año 2020.

-Valor económico: Los sistemas de transporte inteligentes mejoran la eficiencia en el uso de las infraestructuras que se traduce en un menor desgaste de estas y por tanto ahorro económico. Pero no solo ahorran costes, también generan beneficios mediante los desarrollos de múltiples industrias como la del automóvil, equipamiento eléctrico, redes de comunicación, software e ingeniería. Mediante el crecimiento de estas industrias se generan puestos de trabajo de alta cualificación. En Estados Unidos, el departamento de transporte prevé la creación de 60000 puestos de trabajo relacionados con los sistemas inteligentes en los próximos 20 años.

Por último, contribuyen a la reducción de la pobreza social mejorando el tiempo y costes de transporte aportando nuevas oportunidades económicas en zonas lejanas a las grandes urbes. Esto es un desarrollo esencial en grandes ciudades donde grandes sectores de la población viven en zonas periféricas alejadas de las oportunidades económicas normalmente situadas en núcleos urbanos.

4.3. SISTEMAS DE TRANSPORTE INTELIGENTE VERTICALES.

Los sistemas de transporte vertical incluyen todos los tipos de transporte en los edificios, como los ascensores, escaleras, montacargas hidráulicos y transportadores de pasajeros. Se puede considerar que estos sistemas son una parte muy importante en los edificios de gran altura, además cada ocupante de un edificio alto necesita coger el ascensor al menos cuatro veces al día, por la mañana, durante el descanso de la comida y al salir del trabajo. A continuación estudiaremos los principales tipos de ascensores y sus componentes, los dispositivos de seguridad y los sistemas de control y monitorización.

Estructura de un ascensor.

De acuerdo a la guía D de CIBSE [53] un ascensor es una pieza permanente que transporta equipaje entre dos o más niveles, que se compone de un carro o una plataforma para el transporte de pasajeros o carga, que se mueve al menos parcialmente sobre guías rígidas sobre un eje vertical o con una inclinación de menos del 15%. Existen dos tipos de ascensores, los eléctricos y los hidráulicos. Aunque desde un punto de vista operacional hay cinco tipos de ascensores, de pasajeros, de bienes, de servicios, de bomberos y de vehículos.

En la figura 15 podemos observar todos los componentes de un ascensor eléctrico a) y un ascensor hidráulico b). La mayor ventaja de estos ascensores con respecto a los ascensores hidráulicos es que requieren poco espacio para la instalación de su maquinaria [54].

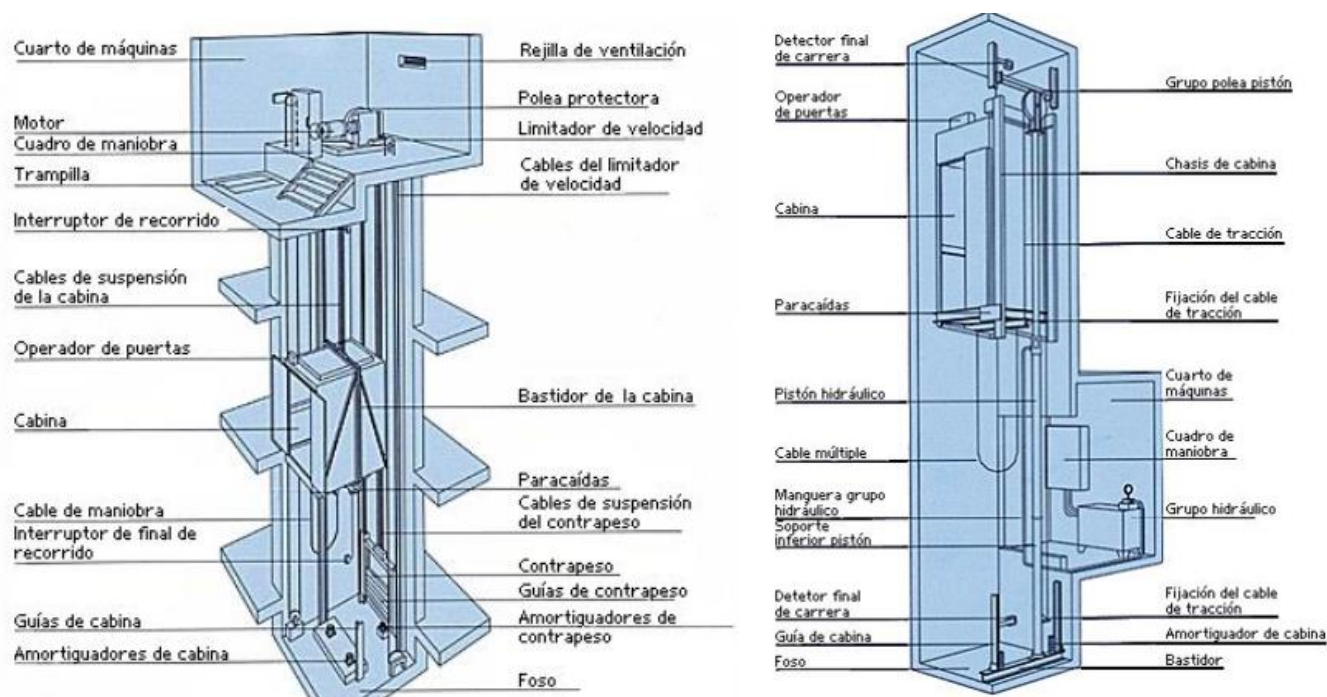


Figura 15. a) Izquierda. Ascensor eléctrico. b) Derecha. Ascensor hidráulico [54].

Los recientes avances en la tecnología de sensores abren un nuevo mundo de entornos inteligentes en nuestro día a día.

Existe un estudio [55] que afirma que los sistemas de climatización y los servicios de ascensores recogen las mayor cantidad de quejas entre los usuarios de un edificio.

Los sistemas de transporte inteligente verticales tienen como objetivo cumplir y mejorar todas estas deficiencias para satisfacer las necesidades de sus usuarios utilizando sensores IoT ópticos, sonoros o de movimiento, que predicen comportamientos humanos y movimientos para reconocer la llegada de pasajeros antes de que pulsen el botón de llamada entre otros usos. De esta forma, el ascensor es capaz de gestionar sus movimientos reduciendo la latencia y consumo de energía.

Recolectar datos sobre sus usuarios es por tanto uno de los pilares fundamentales y estos se utilizan principalmente para minimizar los tiempos de espera de sus usuarios.

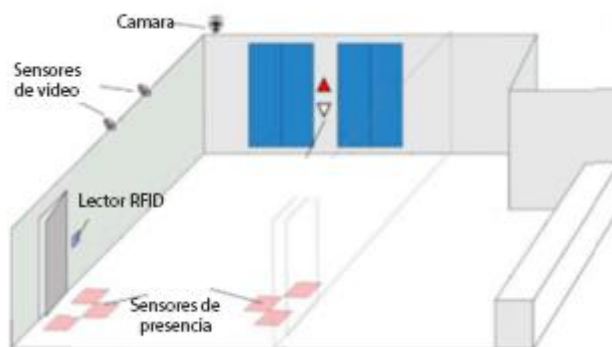


Figura 16. Esquema del uso de sensores para la optimización del uso de un ascensor[56].

Esta sensorica IoT también puede ser aplicada para mejorar y optimizar tareas de mantenimiento sobre el mismo, para predecir cuándo un componente o sistema va a fallar o monitorear las condiciones del ascensor para optimizar estas labores de mantenimiento. De esta forma, llegamos al denominado mantenimiento predictivo, el caso de estudio de este proyecto del que hablaremos en profundidad en el apartado 5.

El sistema de mantenimiento predictivo aplicado a sistemas de transporte vertical reduce los tiempos de espera en hasta un 50% gracias a los datos recogidos desde la placa y enviados a la nube y que a través de unos algoritmos estima el tiempo de vida que le queda a cada componente y sistema de forma que reconoce, que y cuando necesita una revisión.

El sistema, envía alertas en tiempo real para las reparaciones planificadas incluyendo la programación de tareas para adelantarse a posibles averías minimizando la interrupción del servicio del ascensor. De esta forma se consigue pasar de una reacción reactiva a una proactiva anticipándose y planeando futuros costes e interrupciones.

Mediante un adecuado mantenimiento se consigue prolongar la vida útil de los componentes de un sistema impactando de nuevo en una optimizada gestión de tiempos de uso.

Otro de los grandes problemas en relación con la eficiencia es la seguridad y la fiabilidad. El sistema predictivo evita posibles averías mediante un mantenimiento adecuado que reduce drásticamente la posibilidad de fallo. Además, gracias a la continua recogida de

datos, cualquier anomalía es notificada en tiempo real al responsable de mantenimiento garantizando una rápida respuesta y solución.

El sistema clasifica las alertas por prioridad. Si la avería es crítica el sistema envía una alerta para su inmediata reparación. Si la alerta es debida a un fallo no crítico, el sistema analiza si puede ser reparada en la siguiente inspección optimizando una vez más la gestión de tiempos de parada del sistema.

Los edificios consumen el 40% de la energía mundial y los ascensores el 10% de ella. Además, se estima que los ascensores de todo el mundo se encuentran aproximadamente 190 millones de horas no disponibles debido a averías o tareas de mantenimiento.

Según un estudio económico, en el caso de empleados de oficinas, la pérdida de 49 minutos al día de sus empleados equivale a unas pérdidas de 26000 millones de libras para la economía británica a lo largo del año. Con estos datos, somos capaces de comprender la importancia que tiene poder disponer de estos sistemas de transporte cuando son requeridos y reducir sus tiempos de parada por mantenimiento o avería, porque, como comentábamos en la definición de “Ciudad Inteligente” en el apartado 1.2, uno de los pilares fundamentales para considerar a una urbe inteligente, parte de la evolución hacia un sistema de transporte eficiente y la repercusión de estos sistemas inteligentes a la economía de la urbe, y con este sistema conseguimos aportar dos de los pilares fundamentales en cualquier proyecto de “Ciudad Inteligente”.

5. MANTENIMIENTO PREDICTIVO.

5.1 INTRODUCCION AL MANTEMIENTO DE SISTEMAS.

Hay muchas maneras de definir las políticas de mantenimiento. En general, puede ser clasificado en dos tipos: Reactivo y proactivo.



Figura 17. Tipos de mantenimiento (proactivo y reactivo) [57].

Los gastos de mantenimiento son la mayor parte de todos los costes operacionales de un sistema. Dependiendo de la industria, los costes de mantenimiento pueden representar del 15 al 60 por ciento de los costes de los bienes producidos. Por ejemplo, en la industria alimentaria, la media de mantenimiento representa el 15% de los costes de los bienes producidos mientras que en industrias como el acero, papel u otras industrias pesadas puede llegar al 60%.

Estudios recientes sobre la efectividad en la gestión de mantenimientos indican que un tercio de cada dólar del coste total del mantenimiento es malgastado como resultado de una gestión inapropiada del mismo.

Si atendemos a los datos de la industria en USA en la que cada año se destinan 200 billones de dólares para el mantenimiento de plantas y sistemas, una gestión infectiva conlleva pérdidas de más de 60 billones cada año.

La razón dominante de un mantenimiento mal gestionado es principalmente la falta de datos para cuantificar la necesidad de reparar o mantener los sistemas involucrados.

Hasta hace poco, grandes y medianas industrias han ignorado el impacto que supone un mantenimiento mal gestionado en la calidad del producto, costes de producción y el beneficio pero hoy en día, con los avances en los microprocesadores y sistemas computarizados que pueden ser usados para monitorizar las condiciones de funcionamiento de los sistemas, es posible reducir o eliminar reparaciones innecesarias, prevenir fallos catastróficos y reducir el impacto negativo de las operaciones de mantenimiento [57].

5.2. MÉTODOS DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

Para entender el mantenimiento predictivo, tenemos que considerar primero las técnicas de mantenimiento tradicionales.

5.2.1. MANTENIMIENTO REACTIVO.

Este mantenimiento es sencillo y directo. Cuando una maquina falla se procede a su reparación. Este método ha sido el más utilizado desde el inicio de las operaciones industriales y en cierto modo tiene sentido pues no se emplea ningún coste en mantenimiento hasta que el sistema falla.

Se Trata de un método reactivo que espera a que la maquina o sistema falle antes de que ninguna acción de mantenimiento sea llevada a cabo. Sin embargo, es el método más caro de mantenimiento y poco utilizado hoy en día.

Los mayores gastos asociados a este sistema son principalmente piezas de recambio, altos tiempos de parada y por tanto reducción en la productividad.

Debido a que no se realiza ningún intento de anticipar un posible fallo, los sistemas que utilizan este tipo de mantenimiento deben ser capaces de reaccionar

ante cualquier tipo de fallo por lo que se necesita disponer de un amplio inventario de piezas de repuesto que compongan la mayoría de los componentes críticos del sistema o confiar en los tiempos de envío del proveedor de estas piezas. Incluso si esta última opción es posible, el envío de piezas urgente incrementa el coste de las piezas.

Para minimizar el impacto en la producción provocado por fallos inesperados, el personal de mantenimiento deber ser también capaz de reaccionar rápido ante cualquier problema en el sistema.

Por lo tanto, el resultado neto de este tipo de mantenimiento es un elevado coste de mantenimiento y menor disponibilidad de la maquinaria. Análisis de mantenimiento indican que este método supone un coste hasta tres veces mayor que un método de mantenimiento planificado.

5.2.2. MANTENIMIENTO PROACTIVO

El mantenimiento proactivo es una estrategia de mantenimiento para mantener la confianza de la maquinaria y equipos. El objetivo es anticiparse a posibles problemas y tratarlos antes de que ocurran. Dentro del mantenimiento proactivo encontramos dos tipos: el mantenimiento preventivo y el mantenimiento predictivo.

5.2.2.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO.

El mantenimiento preventivo consiste en una serie de acciones planificadas realizadas sobre una maquina o sistema para detectar o mitigar la degradación sobre un componente o sistema con el objetivo de sostener y prolongar su vida útil controlando la degradación hasta un nivel aceptable.

Estudios indican que este tipo de mantenimiento pueden ahorrar desde un 12 a un 18 por ciento de media en los costes totales de mantenimiento de un sistema.

A pesar de que este método no es completamente óptimo, si proporciona numerosas ventajas frente a un mantenimiento reactivo llevando la vida útil de los componentes y sistemas cerca de su vida útil de diseño y esto se traduce en ahorro de dinero pero no seremos capaces de controlar fallos catastróficos [58].

Mediante la siguiente ilustración MTTF (Mean-time-to-failure), se muestra la evolución del tiempo de fallo de un nuevo sistema debido a problemas en la instalación en las primeras semanas de funcionamiento. Después de este periodo inicial, las probabilidades de fallo son relativamente pequeñas por un periodo extenso de tiempo. Después de este funcionamiento normal, la probabilidad de fallo se incrementa abruptamente. La planificación de un mantenimiento preventivo está basada en las estadísticas de esta gráfica.

La implementación de este sistema de mantenimiento tiene muchas variedades. Algunos programas son muy limitados y consisten únicamente en lubricación y ajustes menores, mientras que otras incluyen sustitución de piezas, pero todas estas variedades tienen como elemento común la planificación de sus acciones en el tiempo.

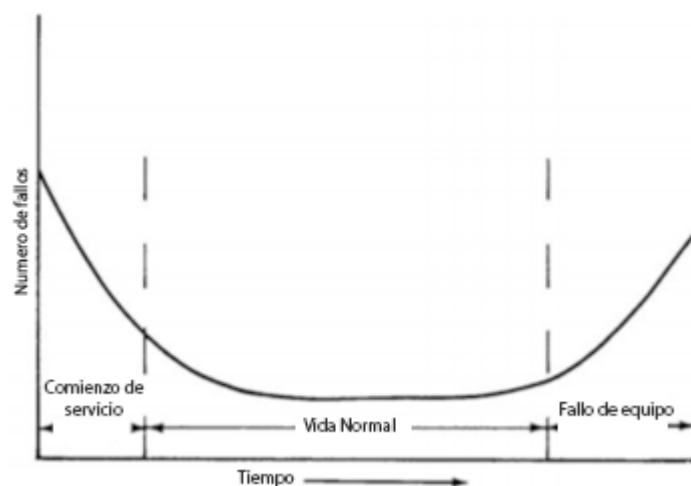


Figura 18. Gráfica MTTF .

El resultado de utilizar la gráfica MTTF como medio de planificación de las tareas de mantenimiento puede ser reparaciones innecesarias o fallos catastróficos indetectados. Por ejemplo, el componente de un sistema puede que no tenga que ser reemplazado después de 17 meses de uso por lo tanto el tiempo, mano de obra y material para llevar a cabo este mantenimiento son desperdiciados.

Si el componente falla antes de 17 meses este deberá ser reemplazado utilizando el método « Uso hasta fallo ».

5.2.2.2. MANTENIMIENTO PREDICTIVO.

Como el mantenimiento preventivo, el mantenimiento predictivo tiene muchas definiciones [5]. El mantenimiento predictivo puede definirse como el monitoreo de las vibraciones en maquinarias rotativas con el objetivo de detectar problemas incipientes y prevenir el colapso de la maquinaria. También se puede entender como mantenimiento predictivo el análisis de mediante imágenes infrarrojas de componentes eléctricos y motores que permite anticiparnos a fallos críticos. Ambas aproximaciones tienen una premisa común, que es la de realizar un monitoreo regular del actual comportamiento de la maquinaria, eficiencia operativa y otros indicadores de las condiciones de operación de sistemas y maquinaria que proporcionan los datos necesarios para poder tomar acciones y asegurar el máximo intervalo entre la reparación de piezas y minimizar el número y coste de las paradas por fallo en el sistema.

En lugar de confiar en estadísticas de vida útil de componentes para programar actividades de mantenimiento, el mantenimiento predictivo usa un análisis directo en tiempo real de las condiciones mecánicas, eficiencia del sistema y otros indicadores para calcular el momento de fallo de los sistemas. En los sistemas mencionados anteriormente, la decisión final de reemplazar una pieza o realizar cierto mantenimiento se basa principalmente en la intuición del operario o la experiencia personal.

En el mantenimiento predictivo, el operario dispone de datos contrastados para cada elemento del sistema que le permiten programar sus acciones reduciendo así las paradas por fallo mecánico y por mantenimiento. Si hay problemas que se detectan con antelación, se previene en la mayoría de los casos problemas de mayor importancia e impacto.

El mantenimiento predictivo, además, es sinónimo de una mejora en la productividad, calidad del producto y efectividad de sistemas y maquinas. Estudios confirman que un sistema predictivo ahorra entre un 8 y un 12% más que un mantenimiento preventivo.

Podemos cuantificar los beneficios de este sistema de la siguiente manera [58]:

- Retorno de la inversión: 10 veces.
- Reducción de los costes de mantenimiento: 25% to 30%
- Eliminación de averías: 70% to 75%
- Reducción de la falta de tiempo: 35% to 45%
- Incremento de la producción: 20% to 25%.

5.2.4. TECNOLOGÍAS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO APLICADAS A SISTEMAS DE TRANSPORTE VERTICAL.

El mantenimiento predictivo detecta la degradación de los mecanismos con el objetivo de reducir el deterioro del componente. Las capacidades de diagnóstico de los sistemas predictivos han aumentado en los últimos años gracias a los avances realizados en el área de la sensórica. Estos avances permiten reducir el tamaño de los sensores, aumentar la sensibilidad y sobretodo reducir costes.

Para la mayoría de los sistemas, el análisis de vibraciones es la técnica más empleada, sin embargo, es una técnica limitada al análisis de condiciones mecánicas y no otros parámetros necesarios para mantener la confianza y eficiencia en los sistemas.

En la tabla 7 podemos encontrar las principales tecnologías empleadas en el mantenimiento predictivo [5].

Tabla 7. Tecnologías empleadas en el mantenimiento predictivo [58].

Technologies	Aplicaciones	Bombas	Motores eléctricos	Generadores diesel	Condensadores	Equipos pesados	Circuitos	Valvulas	Intercambiadores de calor	Sistemas eléctricos	Transformadores	Tanques
Análisis de vibraciones		X	X	X		X						
Análisis de lubricante		X	X	X		X					X	
Análisis de partículas		X	X	X		X						
Análisis de temperatura		X	X	X		X						
Análisis de rendimiento		X	X	X	X				X		X	
Ultrasonidos de ruido		X	X	X	X			X	X		X	
Ultrasonidos de flujo		X			X			X	X			
Termografía infrarroja		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Test no destructivo					X				X			X
Inspección visual		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Resistencia a la insulación			X	X			X			X	X	
Test eléctrico			X									

5.2.4.1 ANÁLISIS DE VIBRACIONES

El análisis de vibraciones es la herramienta primaria utilizada en el mantenimiento predictivo. Durante los últimos 10 años, se han utilizado microprocesadores, colectores de datos y sistemas operativos como Windows para recibir, gestionar y analizar datos relacionados con la energía de las vibraciones creadas por distintos sistemas.

Un análisis de vibraciones regular puede identificar desgastes, roturas, faltas de lubricación o incluso desalineamientos en sistemas mecánicos.

Todas las máquinas rotativas producen vibraciones. Medir la amplitud de estas vibraciones a una determinada frecuencia (Entre 1 y 30000Hz) proporciona datos muy valiosos sobre el funcionamiento del sistema.

En el caso de sistemas de transporte vertical, para determinar si un sistema está funcionando bajo unas vibraciones anormales, comúnmente se emplea la norma ISO 2372 como estándar. Para el uso de este estándar, primero es necesario identificar el tipo

de maquinaria que estamos analizando para poder después correlacionar los distintos tipos de rangos de vibración.

- Clase I: Componentes individuales totalmente conectados al conjunto de la maquina en condiciones normales de operación. Ejemplo, pequeños motores eléctricos de hasta 15KW.
- Clase II: Maquinas de tamaño medio (típicamente motores eléctricos de 15-75KW) o hasta 300KW con cimentación especial.
- Clase III: Motores principales y grandes maquinarias rotativas sobre rígidas y pesadas cimentaciones.
- Clase IV: Motores principales montados sobre cimentación blanda y ligera. Por ejemplo, Turbo maquinaria (Equipos con $RPM > \text{Velocidad crítica}$) [59].

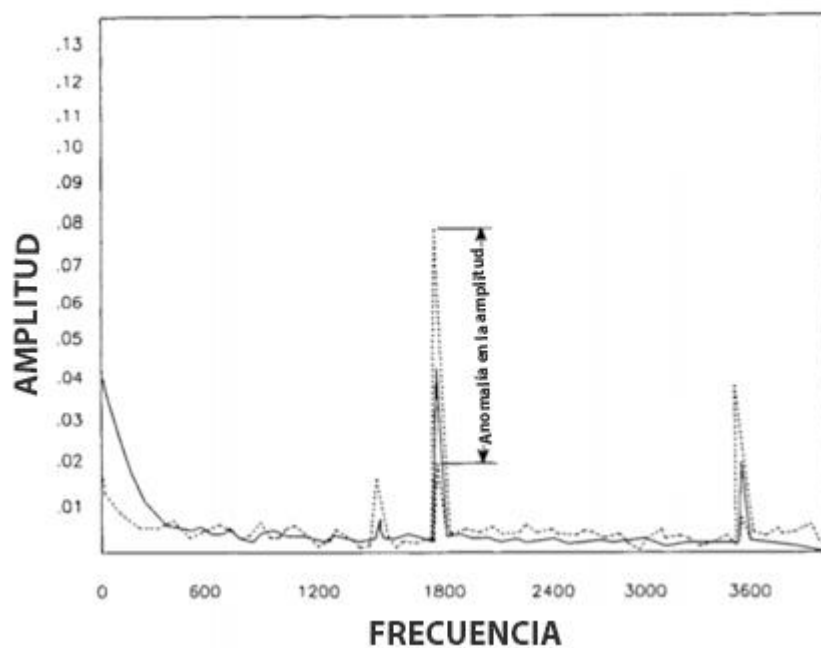


Figura 19. Frecuencia en CPM [59].

La severidad de la vibración se clasifica en cuatro rangos: A-Buena, B-Satisfactoria, C-Insatisfactoria o D-Inaceptable. Para utilizar la norma ISO 2372, basta con identificar la maquina en estudio dentro de la clase correspondiente, y una vez obtenido el valor (RMS) de vibración entre 600 y 60000 CPM, localizar en la tabla la zona en la que se encuentra.

En general se suele considerar que la severidad de vibración de la maquina se mantiene invariable si presenta siempre el mismo valor RMS de amplitud de velocidad de vibración en el rango de frecuencias 10-1000Hz [60].

Tabla 8. ISO 2372 [59].

ISO 2372 – ISO Guideline for Machinery Vibration Severity					
Rangos de vibraciones		Clasificación en función de las clases			
velocidad – in/s – Peak	velocidad – mm/s – rms	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV
0.015	0.28				
0.025	0.45				
0.039	0.71				
0.062	1.12				
0.099	1.8				
0.154	2.8				
0.248	4.5				
0.392	7.1				
0.617	11.2				
0.993	18				
1.54	28				
2.48	45				
3.94	71				

A – Buena	
B – Aceptable	
C – Aceptable	
D – No aceptable	

5.2.4.2. TERMOGRAFÍA.

La termografía infrarroja puede definirse como el proceso de generar imágenes visuales que presenten variaciones en la superficie de los objetos.

Todos los objetos con temperatura mayor que cero absolutos emiten radiación proporcional a su temperatura. El espectro de la radiación infrarroja se sitúa entre 2.0 y

15 micrones. Usando un instrumento que contenga un detector sensitivo de radiación infrarroja, se puede generar una imagen bidimensional de la superficie de un objeto.

El objetivo es, por tanto, detectar condiciones de servicio que reduzcan la vida útil de los componentes y muchas de estas condiciones resultan en cambios de temperatura de la superficie de los elementos.

Por ejemplo, la pérdida de aislante eléctrico de un componente resulta en un cambio de temperatura debido al aumento de la resistencia eléctrica del material. Antes de que el sistema alcance una temperatura crítica que derive en un fallo crítico, los patrones son monitorizados y fácilmente identificados previniendo llegar a este punto.

TIPOS DE SISTEMAS TERMOGRÁFICOS:

Como parte de un efectivo mantenimiento predictivo, se utilizan tres tipos de sistemas:

-Termómetros infrarrojos: Son diseñados para proporcionar la temperatura superficial de un elemento. Dentro de un mantenimiento predictivo, el objetivo de utilizar este sistema es el de monitorear la temperatura en puntos críticos de la instalación que utilizado junto a microprocesadores de vibraciones proporcionan datos muy valiosos para el diagnóstico de un sistema.

-Escáner de línea: Este tipo de instrumento infrarrojo proporciona un escáner unidimensional de radiación comparativa. Aunque este tipo de instrumentos proporcionan un campo de visión mas grande su uso es limitado dentro del mantenimiento predictivo.

-Imágenes infrarrojas: Esta técnica permite escanear las emisiones infrarrojas de una maquina completa, proceso o equipo en un corto periodo de tiempo. El usuario puede ver el perfil de emisión térmico de una amplia área simplemente observando a través de instrumentos ópticos.

La utilización de este sistema en el marco del mantenimiento predictivo permite analizar la eficiencia térmica en componentes críticos de un sistema que basan su correcto funcionamiento en intervalos de temperatura determinados [58].

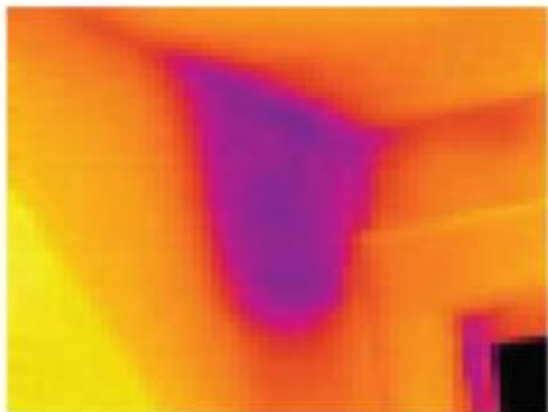


Figura 20. Ejemplo de imagen infrarroja [58].

TERMOGRAFÍA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

Fallos en instalaciones eléctricas a veces ocurren debido a sobrecalentamientos en la red que pueden ser fácilmente detectados. Estos sobrecalentamientos son mayormente provocados por un incremento de la resistencia eléctrica en los circuitos provocando así el fallo del componente. En la figura 21 se puede observar como una mala conexión provoca el calentamiento de uno de los elementos que puede ser generado por una falta de oxidadad o un conector corroído. Con esta técnica, el problema es fácilmente identificado [58].

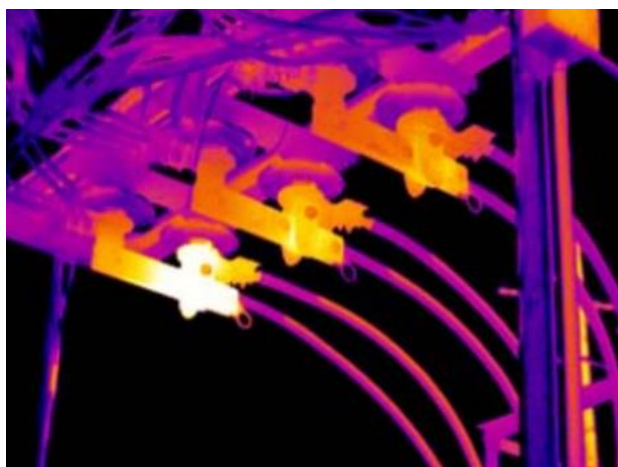


Figura 21. Ejemplo de sobrecalentamiento en un sistema eléctrico [58].

TERMOGRAFÍA EN SISTEMAS MECÁNICOS.

La termografía en sistemas mecánicos es principalmente aplicada a elementos móviles y rotatorios donde un incremento de la temperatura superficial puede ser provocado por fallos de funcionamiento interno.

Calor excesivo puede ser generado por fricción que puede ser a su vez provocada debido a degradación del material, desalineamiento o una lubricación inadecuada.

Para realizar este tipo de inspecciones es conveniente que el sistema se encuentre en operación y los resultados deben ser comparados con los componentes funcionando bajo las mismas condiciones y cargas de trabajo.

En la figura 22 se puede observar el calentamiento superficial provocado por un fallo de lubricación en un cojinete [61].

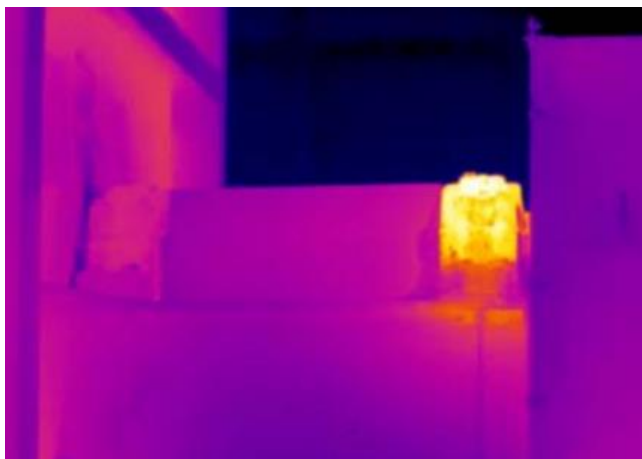


Figura 22. Ejemplo de sobrecalentamiento en un sistema mecánico [58].

5.2.4.3. TRIBOLOGÍA.

Tribología es el termino general para referirse al estudio de la fricción, desgaste y lubricación que se produce al contacto de dos superficies solidas en movimiento.

Dos técnicas son principalmente usadas en el mantenimiento predictivo:

- **Análisis del aceite lubricante:** Como su nombre indica, es una técnica que determina las condiciones del aceite lubricante en equipos eléctricos y mecánicos. Los principales objetivos del uso de esta técnica se centran en el control de calidad, reducción del inventario de lubricantes y determinar el intervalo más eficiente para el cambio de aceite. Aceites lubricantes, hidráulicos o dieléctricos son analizados periódicamente con esta técnica para determinar su condición. Los resultados del estudio se utilizan para determinar si el lubricante cumple los requerimientos de la máquina. Basándose en los resultados, los lubricantes pueden ser cambiados o mejorados para cumplir las condiciones de uso del sistema. Como herramienta de mantenimiento predictivo, los análisis de lubricante son utilizados para programar cambios de aceite basados en las actuales condiciones del lubricante. Una reducción de en el número de cambios de aceite pueden repercutir en una alta reducción de los costes de mantenimiento.

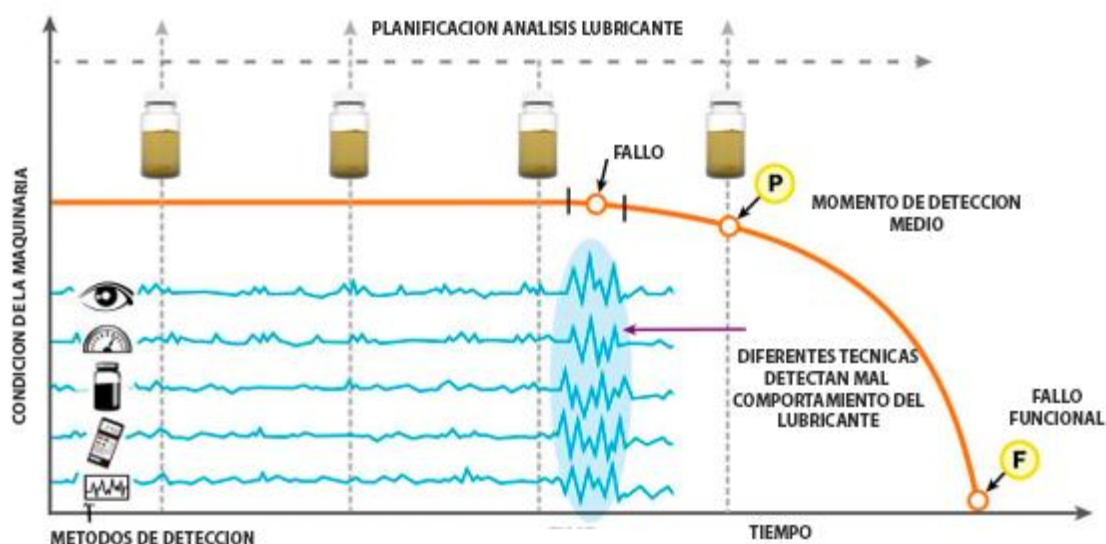


Figura 23. Gráfico ilustrativo del comportamiento mecánico de un aceite [62].

- **Análisis de partículas de desgaste:** Este análisis está relacionado con el análisis de lubricantes porque para poder realizarlo es necesario tomar muestras del lubricante. Mientras que el análisis del lubricante determina las condiciones actuales de una muestra de lubricante, el análisis de partículas proporciona información directa sobre la forma de las partículas presentes en el aceite, composición, tamaño y cantidad que posteriormente estudiadas permiten conocer el estado de la lubricación en el sistema.

Se trata de un excelente análisis de fallo que se utiliza principalmente para conocer la raíz de fallos catastróficos en un sistema. La identificación de patrones de partículas presentes en anteriores fallos del sistema permite aislar el problema si una muestra actual presenta similitud en la composición de partículas del lubricante [62].

5.2.4.4. INSPECCIONES VISUALES.

Las inspecciones visuales fueron el primer método utilizado en el mantenimiento predictivo. Casi desde el inicio de la revolución industrial, los operarios realizaban inspecciones visuales para intentar identificar posibles fallos que pudieran afectar el sistema, la calidad o los costes de producción. Sin embargo, se trata de un método aun viable y contemplado en la mayoría de los planes de mantenimiento.

5.5.4.5. ULTRASONIDOS.

Los ultrasonidos, como el análisis de vibraciones, es una variedad del análisis de ruido. La única diferencia entre ambos es la banda de frecuencia que se analiza que en este caso son superiores a 30000Hz. Estas altas frecuencias son útiles en casos concretos como el de pequeñas grietas que generan ruidos a altas frecuencias provocadas por la expansión o compresión de aire, gases o líquidos al fluir por los orificios.

Como parte del mantenimiento predictivo, esta técnica debería ser limitada a la detención de ruidos atípicos y grietas o fisuras en el sistema.

5.5.4.6. OTRAS TÉCNICAS

Dependiendo del fabricante o de la planificación del mantenimiento del sistema, otras técnicas pueden ser utilizadas a la hora de identificar posibles fallos y problemas. Siempre que dentro de un sistema haya elementos eléctricos, podemos realizar pruebas eléctricas para comprobar el correcto funcionamiento de dichos elementos [5].

TEST DE RESISTENCIA

La resistencia se mide utilizando un óhmetro. Este tipo de pruebas nos aportan información valiosa como si un circuito está abierto o cerrado, que a su vez nos puede indicar si hay una rotura en un circuito o hay un cortocircuito a tierra.

Es importante indicar que elementos inductivos y capacitivos en el sistema pueden distorsionar los valores de resistencia medidos. Los elementos capacitivos aparecerán inicialmente como un cortocircuito y empezaran a abrirse a medida que se cargan. Elementos inductivos aparecerán inicialmente como circuitos abiertos y la resistencia decrecerá a medida que se cargan. En ambos casos, el tiempo de carga está limitado a la resistencia, impedancia e inductancia de cada elemento.

TEST DE MEGGER

Si se quiere medir altas resistencias se puede utilizar un dispositivo llamado mega-óhmetro. Este dispositivo se diferencia de un óhmetro en que mide el voltaje en lugar de la resistencia. Este modo de test consiste en aplicar un voltaje relativamente alto al circuito (de 500 a 2500 voltios) y verificar que no hay ninguna rotura. Este test es principalmente realizado para comprobar la integridad del aislamiento del circuito.

TEST DE IMPEDANCIA

El test de impedancia tiene dos componentes: El real (resistivo) y el reactivo (Inductivo o Capacitivo). Este método es útil para detectar cortocircuitos significantes. Se trata del único método no intrusivo para detectar si existe una bobina cortocircuitada entre vueltas.

5.3. MANTENIMIENTO PREDICTIVO APLICADO A UN ASCENSOR.

5.3.1 VENTAJAS

Para poder realizar un análisis de impacto de un mantenimiento predictivo aplicado a un equipo de transporte vertical, debemos entender y cuantificar que aporta la utilización de este sistema en un equipo y que beneficios conlleva.

Tal y como hemos analizado en el apartado 3.6.1, los principios que un edificio inteligente debe cumplir se centran en la flexibilidad, seguridad, economía, automatización, la predicción y la prevención.

Combinando la información recogida en el apartado 4.3 y 5.2 podemos deducir que la aplicación de un mantenimiento predictivo a un sistema de transporte vertical impacta directamente en la seguridad, eficiencia y el plano económico del mismo.

A continuación, vamos a enumerar las principales ventajas en la utilización de un sistema de mantenimiento predictivo en un equipo de transporte vertical:

- 1) **Monitorización de las condiciones de operación:** Gracias a la aplicación del IoT recolectar datos es rápido y simple. Estos datos pueden ser basados en el uso del sistema, recogiendo los pesos transportados, número de viajes, numero de ciclos de puertas, tiempos de espera o tendencias de tráfico. También pueden estar basados en las condiciones de funcionamiento, analizando los circuitos de seguridad y llevando acabo diagnósticos de los elementos críticos del sistema.
Estudiar todas estas variables y ser capaces de anticiparnos al fallo de diversos componentes o planificar la reposición o mantenimiento de los mismo es esencial

para optimizar el uso de estos sistemas, más aun, teniendo en cuenta que en el mundo hay alrededor de doce millones de ascensores que mueven más de un billón de usuarios cada día realizando cerca de siete billones de viajes [63].

2) **Confianza en el sistema:** Los constructores y proveedores de estos sistemas, utilizan los datos recogidos para mejorar e innovar sus equipos. Se puede conocer cuáles son los componentes más fuertes y cuales son más débiles y de esta forma reemplazarlos para mejorar el sistema y prevenir futuros fallos.

3) **Notificaciones a tiempo real:** Sin un sistema de mantenimiento predictivo, primero se notifica que el ascensor esta fuera de servicio, la compañía de mantenimiento tendría que enviar un técnico para visitar la unidad y diagnosticar el problema correctamente sin ningún tipo de información previa. Podría también, necesitar adquirir nuevas piezas y realizar una segunda visita para terminar la reparación. Si el diagnóstico fue incorrecto, el técnico tendría que empezar de nuevo.

Con el sistema de mantenimiento predictivo, la compañía conoce inmediatamente y posiblemente antes que el propio edificio, que el sistema está fuera de servicio.

4) **Diagnosis remota:** Atendiendo a las tarifas de diferentes empresas del sector, actualmente, el coste medio de una llamada al servicio técnico oscila alrededor de los 150 EUR. Si hay alguna reparación a llevar a cabo, el coste del operario por hora se sitúa en torno a los 80 EUR.

El constante flujo de datos desde los sistemas de monitorización permite a los operarios identificar problemas y diagnosticar fallos antes incluso de que lleguen al edificio, ahorrando tiempo de diagnóstico “in situ” para que cuando lleguen puedan emplear todo el tiempo en la solución del problema y por tanto ser más eficientes en su labor.

El técnico, puede recibir un diagnóstico completo con información corroborada y acciones sugeridas para emplear todo el tiempo del operario directamente en arreglar el fallo.

Por ello, el ahorro de coste de reparación se ve reducido considerablemente.

- 5) **Reducción de paradas no planificadas:** Esta es posiblemente una de las grandes ventajas de la utilización de este sistema siendo prácticamente evitadas y permitiendo tener paradas únicamente planeadas y durante horas de poco uso.

El objetivo es tener en funcionamiento el máximo porcentaje de tiempo y aunque resulta imposible disponer de un 100% de tiempo de uso en un ascensor debido a las labores de mantenimiento, con este sistema se garantiza que la cantidad de tiempo empleada en el mantenimiento es estrictamente la necesaria.

Para poner en contexto la importancia de reducir estos tiempos, necesitamos conocer cifras reales.

Según un estudio de IBM realizado sobre las principales ciudades de USA a través de encuestas, se llegó a la conclusión de que los trabajadores de oficina emplearon 33 años utilizando ascensores durante 2009. En Nueva York, por ejemplo, el 14% de los encuestados afirman ser usuarios habituales de estos sistemas.

Pero más impactante es conocer las cifras relativas al tiempo de espera para la utilización de los elevadores, que asciende a 92 años en total en 2009 [64].

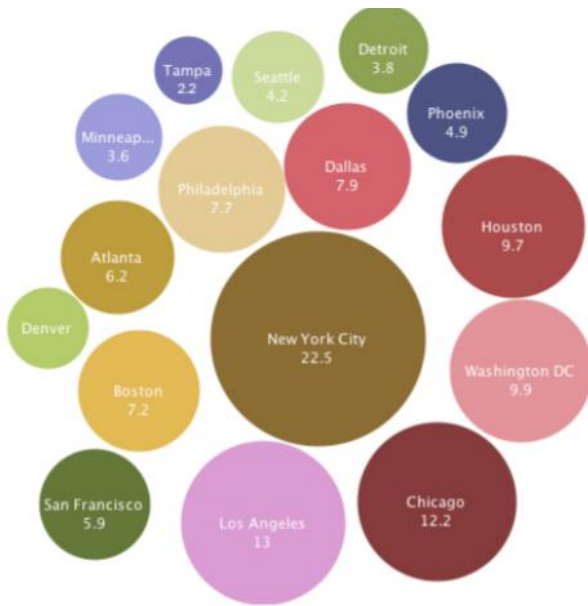


Figura 24. Gráfico de tiempo medio en años de espera/uso de ascensores en las principales ciudades de USA [64].

Tabla 9. Tabla de tiempo medio de espera/uso de ascensores en las principales ciudades de USA [64].

City	Labor Force -1/10 bls.gov	Adj Elevator Pop	Years Stuck in Elevators	Years Waiting for Elevators
Atlanta	2,664,311	683,800	1.9	4.3
Boston	2,529,949	693,000	1.8	5.4
Chicago	4,832,372	1,213,400	3.2	9.0
Dallas - Fort Worth	3,211,548	743,220	2.4	5.5
Denver	1,347,934	348,300	1.0	2.3
Detroit, MI	2,076,045	387,140	1.1	2.7
Houston	2,881,612	878,460	2.9	6.8
Los Angeles	6,412,821	1,230,240	4.3	8.7
Minneapolis – St. Paul, MN	1,842,087	539,768	0.5	3.1
New York	9,436,392	2,053,548	5.9	16.6
Philadelphia	2,990,914	663,625	1.7	6.0
Phoenix - Prescott	3,137,804	666,000	0.8	4.1
San Francisco-Oakland-San Jose	2,229,581	691,730	1.4	4.5
Seattle- Tacoma, WA	1,889,840	506,400	1.0	3.2
Tampa – St. Petersburg (Sarasota), FL	1,309,090	263,800	0.6	1.6
Washington, DC-Hagerstown, MD	3,133,022	1,137,570	2.2	7.7
TOTAL			32.7	91.5

Conociendo estos datos, podemos darnos cuenta de la importancia que tiene una correcta gestión de los tiempos de parada de un ascensor que no solo afecta al confort de los usuarios, si no en este caso también, a la productividad de estos en sus lugares de trabajo.

- 6) **Reemplazos menos frecuentes:** Los costes de los elementos de un ascensor son muy elevados. En la siguiente tabla se resumen los precios medios de los componentes más reemplazados en un ascensor:

Tabla 10. Tabla de coste medio de componentes.[71]

COMPONENTES	PRECIO MEDIO (EUR) (1 USD = 0,890694 EUR)
Motor	10700
Instalación del Pistón	13800
Controlador de cables	4000
Paneles de la cabina	4000
Cables de transporte	3100
Hardware de las puertas (Mecánico)	1300
Hardware de las puertas (Eléctrico)	890

Monitorizar los equipos frecuentemente y evitar paradas no planificadas no solo permite evitar llamadas de emergencia si no también ahorrar costes a largo plazo mediante un correcto mantenimiento de componentes contra el reemplazo de estos por fallo crítico.

- 7) **Ahorro en costes de inventario:** Teniendo en cuenta que este sistema es capaz de monitorizar en tiempo real los posibles fallos del sistema con antelación y proveer al técnico con una solución, las necesidades de tener un

inventario, con el coste que ello conlleva se reducen, posibilitando pedir piezas de reemplazo sobre la marcha a los proveedores.

8) Mejora de la gestión de instalaciones: El bajo coste de los dispositivos IoT actuales están haciendo de estos sistemas una inversión realista.

En el siguiente gráfico (Figura 25) podemos observar la evolución del precio de los sensores IoT durante la última década lo que está posibilitando sistemas más económicos y accesibles para los inversores.

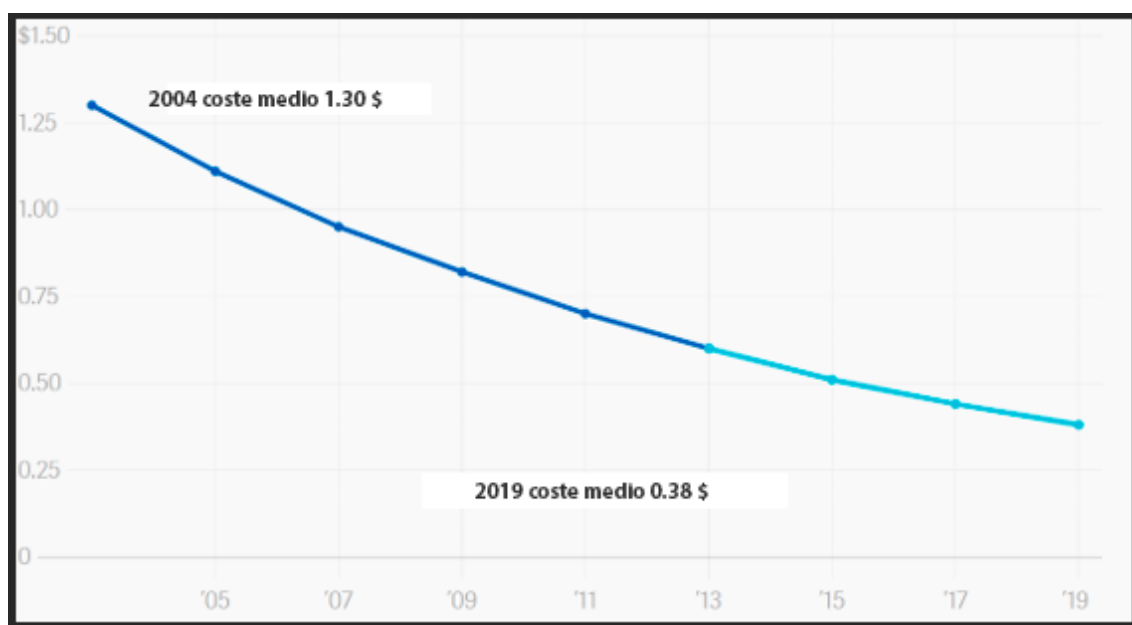


Figura 25. Gráfico con la evolución del coste de sensores IoT en la última década. Imagen adaptada de Goldman Sachs, BI Intelligence Estimates.

Los principales motivos por esta caída de los precios han sido:

- a) El aumento de empresas en el sector. En Julio de 2017 había cerca de 3000 empresas dedicadas al desarrollo de esta tecnología y cada año este número se incrementa aumentando así la oferta y disminuyendo los precios.

- b) Los componentes IoT están en continua optimización. Hoy en día un solo sensor puede cubrir amplias zonas lo que permite reducir el número de estos en sus aplicaciones, así como el espacio para acomodarlos pues cada vez son más pequeños.

Las tecnologías anteriores eran limitadas en cuanto a capacidad y potencial, pero la última generación de dispositivos y la habilidad para utilizar estos dispositivos para obtener información y datos permite a los gestores de edificios realizar su labor de manera más eficiente.

- 9) **Seguridad:** Hoy en día, los ascensores son un elemento indispensable en la vida diaria de las personas con el desarrollo de la economía y la urbanización por lo que disponer de sistemas confiables y seguros es uno de los pilares fundamentales en estos equipos. Para que sean seguros es necesario que todos los componentes del sistema operen de forma estable, eficiente y robusta. Sin embargo, con un mantenimiento común no se aseguran estas premisas ya sea por el empleo de métodos de mantenimiento inadecuados o altos costes de mantenimiento.

Según un informe estadístico de accidentes de la asociación de la industria de ascensores de Reino unido (LEIA) basado en la información aportada por la asociación europea de ascensores (ELA), se reportaron 326 accidentes, 5 de ellos con daños graves.

Las causas públicas de dichos accidentes se recogen en el siguiente gráfico:

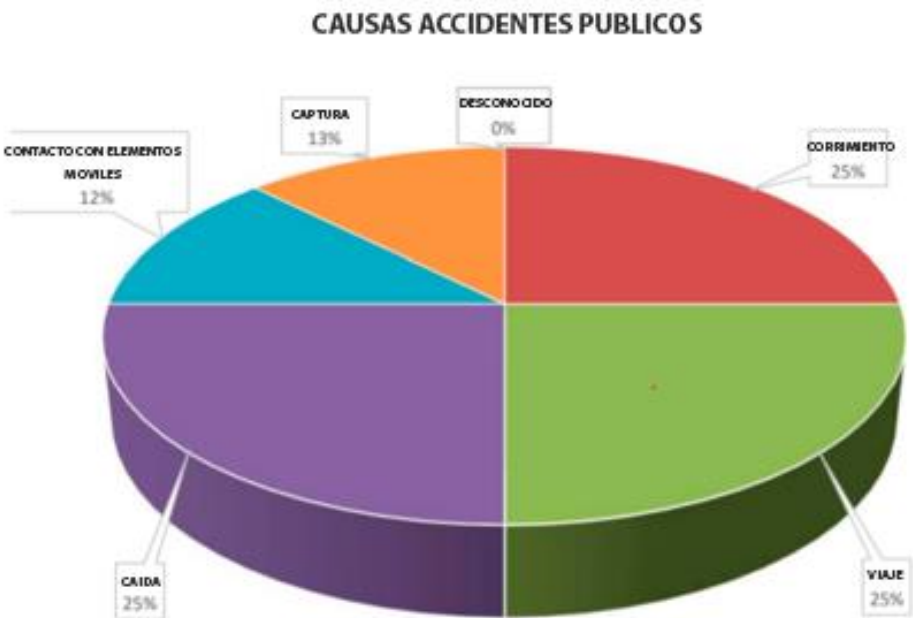


Figura 26. Grafico ilustrativo de las causas de los accidentes de registrados por la Asociación Europea [65].

En el siguiente gráfico podemos ver el ratio de accidentes por cada 100 habitantes observando un considerable descenso respecto a la década de los 90.

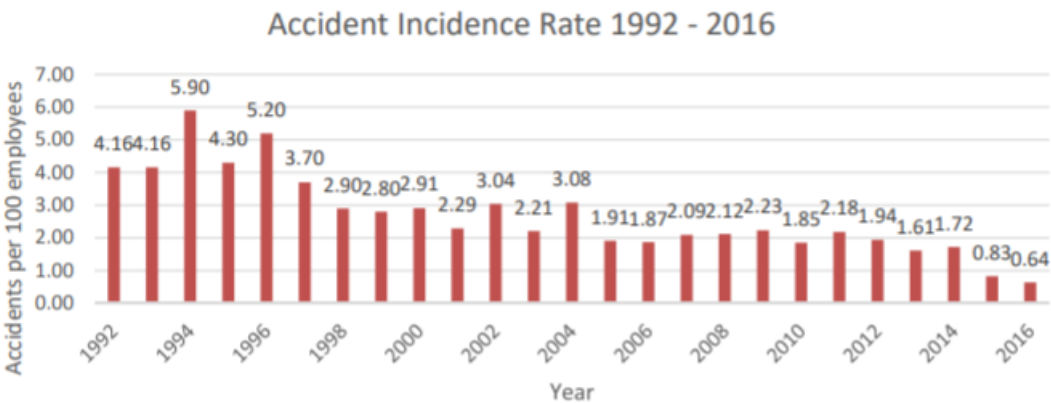


Figura 27. Gráfico que muestra el índice de accidentes por cada 100 habitantes desde 1992 a 2016 de los datos recogidos [65].

Un sistema de mantenimiento predictivo con el que somos capaces de monitorear el estado de cada componente crítico de un ascensor a tiempo real permite incrementar la seguridad en estos sistemas hasta niveles nunca vistos aumentando también la confianza de los usuarios en los mismos y reduciendo los accidentes por deficiencia de componentes continuando así con la tendencia decreciente hasta alcanzar una tasa de accidentes lo más cercana a cero posible [65].

- 10) **Contribución a la inteligencia de un edificio:** Como veremos en el apartado 6, la utilización de estos sistemas permite aumentar el índice de inteligencia de un edificio hasta un 50% y estos a su vez son pilares fundamentales en las ciudades inteligentes.

Como hemos estudiado en la introducción de este proyecto, la tendencia y necesidad de la población es la de desarrollar un futuro donde las ciudades inteligentes sean la base y los pilares donde se asiente nuestra sociedad, por lo que cada vez es más importante apostar por tecnologías que contribuyan a este propósito.

6. IMPACTO DE LA APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN UN EDIFICIO INTELIGENTE.

En el ciclo de vida de un edificio, la gestión de este ocupa la mayor parte del tiempo, por eso se considera un factor clave a mejorar cuando se diseña un edificio inteligente. Además, la gestión de un edificio requiere de un mantenimiento preventivo y detección de fallos en los equipos instalados en el mismo para garantizar las condiciones óptimas de su uso.

Tradicionalmente, la gestión de edificios se ha caracterizado por disponer de poca información sobre los sistemas utilizados en el edificio, largos periodos de notificación y retrasos en operaciones relevantes de mantenimiento.

Teniendo en cuenta todo esto, IoT proporciona acceso adaptativo y en tiempo real a los sistemas del edificio para el personal encargado.

Como se ha mencionado en el apartado 5.3.1, una gestión eficiente genera numerosos beneficios a los usuarios como seguridad, confort y calidad en el uso de las instalaciones y coste del mantenimiento o reparación.

Durante los apartados previos, hemos estudiado las ventajas que los edificios inteligentes aportan a una urbe y el papel tan importante que los sistemas inteligentes juegan dentro de este tipo de edificios, como es el caso de los ascensores basados en el IoT que hacen uso del sistema del mantenimiento predictivo. Pero para analizar la importancia que tiene un ascensor inteligente dentro de un “Edificio Inteligente”, estudiaremos cómo determinar el grado de inteligencia de un edificio y así, posteriormente veremos el impacto que tiene un ascensor con mantenimiento predictivo dentro de él.

6.1. DETERMINACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DEL GRADO DE INTELIGENCIA DE UN EDIFICIO.

Los grados de inteligencia de un edificio se determinan en función de la automatización de sus instalaciones y se pueden clasificar de la siguiente manera:

- **Grado 1:** Es un grado de inteligencia mínima o básica. El edificio cuenta con un sistema de automatización de la actividad y los servicios, pero no de forma integrada.
- **Grado 2:** Se considera un grado de inteligencia media a aquellos edificios que cuentan con un sistema integrado, pero sin una integración compleja de las telecomunicaciones.

- **Grado 3:** Inteligencia máxima. Todos los sistemas de telecomunicaciones, automatización y actividad se encuentran totalmente integrados.

El grado de inteligencia viene determinado por los distintos niveles de los sistemas de control enfocados a la independencia, centralización y distribución en la red.

El control independiente caracteriza el grado de inteligencia básica donde cada sistema dispone de sus algoritmos y elementos de control, pero sus acciones no están relacionadas con otro sistema de integración.

El control centralizado permite monitorizar en un mando central las señales de los distintos dispositivos de los que dispone el edificio. Dentro de estos elementos de mando pueden considerarse cualquier sistema lógico que maneje entradas y salidas, un PC o cualquier dispositivo que permita visualizar los cambios de estado de los dispositivos.

Cuando a un edificio de grado 2 con automatización integrada y control centralizado le añadimos telecomunicaciones, obtenemos un edificio de grado 3, que presentan algunas limitaciones como la cantidad de entradas y salidas que pueden manejar los dispositivos de control. Entre sus ventajas destacan el control por voz, seguridad, limpieza, análisis de tendencias y mantenimiento entre otros.

El sistema de automatización de un edificio se clasifica en:

- Básico:** Permite monitorizar el estado de las instalaciones, así como los suministros de gas y eléctricos.
- De seguridad:** Protege a los usuarios, los bienes materiales y la información mediante sistemas de detección y extracción de humo y fuego, señalización de salidas de emergencia, sistemas de vigilancia e intercomunicación de emergencia además de sistemas de seguridad informática y con sistemas mejorados.
- De ahorro de energía.** Que se encarga de proporcionar la climatización de la forma más eficiente, utilización de energías renovables, control de horarios para

el control de funcionamiento de equipos, así como el control de ascensores y programas de emergencia [66].

CUANTIFICACIÓN DEL GRADO DE INTELIGENCIA DE UN EDIFICIO.

Descripción del método.

Para definir o cuantificar el nivel de “inteligencia” de un edificio se pueden emplear distintas metodologías. En nuestro caso, hemos utilizado el método descrito a continuación [66] por estar basado en la opinión de distintos expertos y profesionales de la edificación que califican y valoran la importancia de las herramientas y factores que contribuyen a la inteligencia de un edificio.

El cálculo del grado de inteligencia de un edificio ha de basarse en cuatro pasos:

1. Primero, han de identificarse las diferentes dimensiones y variables asociadas a la inteligencia de un edificio recogidas en la Tabla 11.

Tabla 11. Variables asociadas a la inteligencia de un edificio [66] .

Herramientas	Dominio	variables	Fuentes
RED DE COMUNICACIÓN, TECNOLOGÍAS DE AUTOMATIZACIÓN Y MATERIALES Y EQUIPOS	Problemas Económicos	Coste de planificación y diseño	Alwaer and Clements-Croome 2010; Brown and Southworth 2006
		Coste de construcción	Alwaer and Clements-Croome, 2010
		Coste de mantenimiento y operación	Kolokotsa et al. 2011; Wong, Li, and Lai 2008; Alwaer and Clements-Croome 2010
		Coste de sostenibilidad	Wang et al. 2012; Kolokotsa et al. 2011
	Problemas Energéticos	Sistema de calefacción	Wu and Noy 2010; Wong, Li and Lai 2008; Kolokotsa et al. 2011; Chwieduk 2003; LEED, 2008
		Sistema de frío	Wu and Noy 2010; Kolokotsa et al. 2011
		Sistema de iluminación	Wu and Noy 2010; Wang et al. 2012; Eang and Priyarsdasini 2008; Wong, Li, and Lai 2008; Wong and Jan 2003; LEED, 2008
		Sistema de aguas	Chwieduk 2003; Kleissl and Agarwal 2004
	Confort de los ocupantes	temperatura	Doukas et al. 2007; Wang et al. 2012; Eang and Priyarsdasini, 2008
		Humedad	Doukas et al. 2007
		Calidad del aire	Doukas et al. 2007; Wang et al. 2012; Eang and Priyarsdasini 2008; Wong and Jan 2003
		Confort acústico	Wong and Jan 2003
		Funcionalidad	Yang and Peng 2001
		Aspectos fisiológicos	Morsy 2007
		Seguridad	Doukas et al. 2007; Wong, Li, and Lai 2008; Kleissl and Agarwal 2004
		Protección de fuegos	Doukas et al. 2007; Wong, Li, and Lai 2008

- 2) Teniendo en cuenta estas dimensiones y variables, se realiza un cuestionario a diferentes profesionales y expertos en la materia que, basándose en su experiencia profesional, han sido preguntados sobre la importancia de las herramientas, dimensiones y variables que afectan a la inteligencia de un edificio utilizando como sistema de puntuación (Tabla 12):

Tabla 12. Grados de importancia [66].

1	Sin Importancia
2	Moderadamente importante
3	Importante
4	Muy importante
5	Extremadamente importante

- 3) Esta encuesta, fue suministrada a profesionales y operarios de la construcción miembros de la “Construction Management Association of America (CMMA)”. Los profesionales de la construcción conocen de primera mano cuestiones sobre energía, confort y economía relacionadas con un edificio. Todos los participantes recibieron un email con un enlace a la encuesta. Cuando todos los participantes respondieron el cuestionario, los resultados fueron enviados a los investigadores para su análisis.
- 4) Los datos recogidos fueron analizados estadísticamente y testeados para una validación convergente. Los datos se basaron en puntuaciones de 1 a 5 que no estaban distribuidos normalmente. Por lo tanto, fue necesario una prueba de no-parametrización para la realización del análisis estadístico. En concreto, se utilizó el test Kruskal-Wallis. Esta prueba es un método no paramétrico que investiga si las muestras derivan de la misma distribución.
- La Ecuación Kruskal-Wallis es la siguiente:

$$K = (N - 1) \frac{\sum_{i=1}^g n_i (\bar{r}_i - \bar{r})^2}{\sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^{n_i} (r_{ij} - \bar{r})^2} \quad (1)$$

Dónde:

- n_i es el número de observaciones en el grupo i
- r_{ij} es el ranking de observaciones j del grupo i
- N es el número total de observaciones de todos los grupos

$$\rightarrow \bar{r}_i = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} r_{ij}}{n_i}$$

$$\rightarrow \bar{r} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^{n_i} r_{ij} \text{ es la media de todas las } r_{ij}$$

Esta prueba comprueba la hipótesis nula de que las diferentes muestras tienen la misma mediana. Si la prueba tiene un p-valor menor que el nivel de significancia (Normalmente 5%), la hipótesis nula puede ser rechazada en favor de la hipótesis alternativa de al menos una muestra diferente en todos los grupos de análisis.

Finalmente, basados en esta información, se establece un Índice de inteligencia (SI). Este índice se calcula con el valor principal obtenido de cada grupo y subgrupo. Para terminar, las dimensiones y variables son ponderadas mediante normalización [66].

Cálculo de parámetros.

El cuestionario fue enviado a 1600 miembros del CMAA; 120 respondieron con una ratio de respuesta del 7.5%.

La mayoría de los participantes tenía entre 20 y 35 años de experiencia en la construcción por lo que las respuestas pueden considerarse confiables.

La tabla 5 muestra los coeficientes de Cronbach's Alpha, computados para comprobar la validez del análisis llevado a cabo. Este coeficiente es una medida de consistencia interna que identifica si una encuesta es confiable. Se distribuye de 0 a 1 donde los valores más cercanos a 1 indican una alta consistencia.

Los resultados muestran todos los coeficientes por encima de 0.8 significando que el cuestionario proporcionado captura las percepciones de los profesionales sobre edificios inteligentes.

Tabla 13. Coeficientes de Cronbach's Alpha [66].

Sub-Domain	Cronbach's Alpha
Life-Cycle costs	0.8546
Energy consumption	0.856
Occupant comfort	0.8464
Heating systems	0.8492
Cooling systems	0.8496
Lighting systems	0.8492
Water systems	0.8451
Planning and design	0.8545
Construction	0.8556
Operation and maintenance	0.8485
Sustainability	0.8532
Temperature	0.8517
Humidity	0.853
Air quality	0.8516
Acoustic comfort	0.8512
Functionality	0.8546
Psychological aspects	0.8488
Security	0.852
Fire protection	0.8567

La tabla 14 muestra los resultados de la prueba Kruskal-Wallis aplicado a los diferentes profesionales que respondieron la encuesta. En los resultados se observa que tanto constructores como diseñadores tienen la misma opinión acerca de los costes y confort de los usuarios, pero no sobre problemas energéticos especialmente en la dimensión de sistemas de climatización e iluminación, que con consideradas menos importantes para los participantes.

Tabla 14. Resultados de los análisis estadísticos [66].

DOMINIOS Y VARIABLES	PUNTUACIONES			P-VALUE	PESOS NORMALIZADOS
	PROPIETARIO	CONSTRUCTOR	DISEÑADOR		
PROBLEMAS ECONOMICOS (X)	4.25	4.17	4.05	0.549	$W_X = 0.33$
Coste de planificación y diseño (X1)	4.50	4.57	4.38	0.878	$W_{X1} = 0.28$
Coste de construcción (X2)	3.55	3.47	3.78	0.176	$W_{X2} = 0.22$
Coste de operación y mantenimiento (X3)	4.40	4.16	4.23	0.284	$W_{X3} = 0.26$
Coste de sostenibilidad (X4)	4.10	3.83	3.92	0.281	$W_{X4} = 0.24$
PROBLEMAS ENERGETICOS (Y)	4.40	4.38	4.40	0.746	$W_Y = 0.35$
Sistema de calefacción (Y1)	4.60	4.24	4.40	0.17	$W_{Y1} = 0.26$
Sistema de enfriado (Y2)	4.60	4.37	4.54	0.036	$W_{Y2} = 0.27$
Sistema de iluminación (Y3)	4.40	4.04	4.21	0.032	$W_{Y3} = 0.25$
Sistema de aguas (Y4)	3.8	3.32	3.76	0.082	$W_{Y4} = 0.21$
PROBLEMAS DE CONFORT DE OCUPANTES (Z)	4.25	3.81	3.98	0.133	$W_Z = 0.32$
Temperatura (Z1)	4.15	4.32	4.23	0.847	$W_{Z1} = 0.12$
Humedad (Z2)	3.70	3.71	3.85	0.548	$W_{Z2} = 0.12$
Calidad del aire (Z3)	4.00	4.17	4.26	0.585	$W_{Z3} = 0.14$
Confort acústico (Z4)	3.5	3.49	3.71	0.464	$W_{Z4} = 0.12$
Funcionalidad (Z5)	4.05	3.75	4.00	0.253	$W_{Z5} = 0.14$
Aspectos fisiológicos (Z6)	3.65	3.07	3.50	0.056	$W_{Z6} = 0.11$
Seguridad (Z8)	3.15	3.58	3.45	0.275	$W_{Z7} = 0.11$
Protección de fuegos (Z8)	3.70	4.04	3.85	0.272	$W_{Z8} = 0.13$

Índice de inteligencia.

El índice de inteligencia en la ecuación 1 fue desarrollado para determinar el nivel de inteligencia de un edificio. Para cada dimensión y variable, el valor significativo ha sido computado en base a las respuestas de la encuesta.

Las ponderaciones fueron obtenidas mediante la ecuación de normalización (ecuación 2):

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^n x_{ij}}{n} \quad (2)$$

Dónde:

- n es el número de participantes de la variable i.
- Las ponderaciones W se calculan y se presentan en la tabla 14, de tal modo, que el índice de inteligencia puede ser calculado mediante la ecuación 3 [66].

$$SI = (W_x * X) + (W_y * Y) + (W_z * Z) = 0.33X + 0.35Y + 0.32Z \quad (3)$$

dónde:

$$X = (W_{x1} * X_1) + (W_{x2} * X_2) + (W_{x3} * X_3) = 0.28X_1 + 0.22X_2 + 0.26X_3 + 0.24X_4 \quad (4)$$

$$Y = (W_{y1} * Y_1) + (W_{y2} * Y_2) + (W_{y3} * Y_3) + (W_{y4} * Y_4) = 0.26Y_1 + 0.27Y_2 + 0.25Y_3 + 0.22Y_4 \quad (5)$$

$$Z = (W_{z1} * Z_1) + (W_{z2} * Z_2) + (W_{z3} * Z_3) + (W_{z4} * Z_4) + (W_{z5} * Z_5) + (W_{z6} * Z_6) + (W_{z7} * Z_7) + (W_{z8} * Z_8) = 0.14Z_1 + 0.12Z_2 + 0.14Z_3 + 0.12Z_4 + 0.13Z_5 + 0.11Z_6 + 0.11Z_7 + 0.13Z_8 \quad (6)$$

6.2. IMPACTO DE UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO APLICADO A UN ASCENSOR EN UN EDIFICIO INTELIGENTE.

Como comentábamos en el apartado 3.6.2, no existe un método estandarizado para calcular el grado de inteligencia de un edificio, pero utilizando el método descrito en dicho apartado podemos cuantificar el impacto que tendría un ascensor con un sistema de mantenimiento predictivo instalado y compararlo con el mismo edificio sin él, por lo tanto, calcularemos dos índices de inteligencia y los compararemos.

Para calcular dichos índices, vamos a suponer un edificio completamente básico donde no tenemos ningún sistema ICT que mejore el rendimiento de nuestras instalaciones por lo que asumiremos una puntuación por parte del gestor del edificio de 1 en todas las dimensiones (Tabla 15).

Tabla 15. Puntuaciones de un edificio básico.

Dimensiones	Variables	Puntuación del gestor del edificio
Rendimiento Económico	• Eficiencia del coste de planificación y diseño (X1)	1
	• Eficiencia del coste durante la construcción (X2)	1
	• Eficiencia del coste de operación y mantenimiento (X3)	1
	• Eficiencia del coste de sostenibilidad (X4)	1
Rendimiento Energético	• Eficiencia del sistema de calefacción (Y1)	1
	• Eficiencia del sistema de climatización (Y2)	1
	• Eficiencia del sistema de alumbrado (Y3)	1
	• Eficiencia del sistema de distribución de agua (Y4)	1
Confort del usuario	• Eficiencia relacionada con la temperatura (Z1)	1
	• Eficiencia relacionada con la humedad (Z2)	1
	• Eficiencia relacionada con la calidad del aire (Z3)	1
	• Eficiencia relacionada con el confort acústico (Z4)	1
	• Eficiencia relacionada con la funcionalidad (Z5)	1
	• Eficiencia relacionada con la gestión de basuras (Z6)	1
	• Eficiencia relacionada con la seguridad (Z7)	1
	• Eficiencia relacionada con la protección de fuegos (Z8)	1

El sistema de mantenimiento predictivo en un ascensor inteligente tiene un impacto positivo directamente sobre el coste de operación, el mantenimiento de un edificio y la funcionalidad y seguridad, por lo que estos factores obtendrán una mayor puntuación cuando el edificio disponga de un sistema de mantenimiento predictivo en un ascensor del edificio. Para poder cuantificar este aumento, suponemos que el gestor puntúa con valor 4 las tres dimensiones anteriormente mencionadas (Tabla 16).

Tabla 16. Puntuaciones de un edificio básico.

Dimensiones	Variables	Puntuación del gestor del edificio
Rendimiento Económico	• Eficiencia del coste de planificación y diseño (X1)	1
	• Eficiencia del coste durante la construcción (X2)	1
	• Eficiencia del coste de operación y mantenimiento (X3)	4
	• Eficiencia del coste de sostenibilidad (X4)	1
Rendimiento Energético	• Eficiencia del sistema de calefacción (Y1)	1
	• Eficiencia del sistema de climatización (Y2)	1
	• Eficiencia del sistema de alumbrado (Y3)	1
	• Eficiencia del sistema de distribución de agua (Y4)	1
Confort del usuario	• Eficiencia relacionada con la temperatura (Z1)	1
	• Eficiencia relacionada con la humedad (Z2)	1
	• Eficiencia relacionada con la calidad del aire (Z3)	1
	• Eficiencia relacionada con el confort acústico (Z4)	1
	• Eficiencia relacionada con la funcionalidad (Z5)	4
	• Eficiencia relacionada con la gestión de basuras (Z6)	1
	• Eficiencia relacionada con la seguridad (Z7)	4
	• Eficiencia relacionada con la protección de fuegos (Z8)	1

Aplicando las fórmulas 3,4,5 y 6 para el cálculo del índice de inteligencia de un edificio definido en el apartado 3.6.2.

Obtendríamos un índice SI en el primer caso de valor 1, que corresponde a un edificio totalmente básico, y un coeficiente SI de valor 1,57 en el caso de instalar un sistema de mantenimiento predictivo en el ascensor del edificio.

En el caso de un edificio básico, contar con este sistema supone un incremento del 57% en el índice de inteligencia global.

6.4. POTENCIAL DE APLICACIÓN DEL SISTEMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN ASCENSORES.

Como se ha mencionado en el apartado 3.4. existen diversas barreras que pueden influir en una ciudad a la hora de desarrollar iniciativas de ciudades inteligentes, entre estos factores se pueden distinguir los factores estructurales, desarrollo económico, desarrollo tecnológico, políticas medioambientales, y otras.

Para poder determinar e identificar los campos que tienen un mayor número de iniciativas de proyectos en ciudades inteligentes, un estudio [42] realizó un análisis en 70 ciudades que habían demostrado tener varios proyectos de ciudades inteligentes y que aparecían en el ranking de ciudades con mayor calidad de vida (ej. Comunidad inteligente del año dado por el Foro de Comunidades Inteligentes) o por centros de investigación (ej. Citylab del MIT).

Para realizar dicho análisis se asignaron a las seis principales dimensiones de una ciudad inteligente (Economía Inteligente, Gobierno Inteligente, Población Inteligente, Movilidad Inteligente, Entorno Inteligente y Vida Inteligente) diferentes valores en función de si esa ciudad inteligente tenía mejores prácticas en ese contexto específico o no. También se calculó el índice de cobertura (IC) que es un indicativo de la capacidad de una ciudad inteligente de desarrollar proyectos y consolidar mejores prácticas en mayor o menor medida. El IC también se utiliza para estudiar el impacto en el desarrollo de las iniciativas de ciudades inteligentes en diferentes ámbitos, como el social, geográfico, demográfico y medioambiental que son los que mejor describen el concepto de urbe.

Los resultados mostraron que las dimensiones con mayor índice IC eran “Movilidad Inteligente” y “Entorno Inteligente”, mientras que el “Gobierno Inteligente” es la dimensión con menor número de iniciativas [42].

A continuación, para poder identificar los factores de mayor nivel, los IC en cada dominio se analizaron usando un factor de análisis que mostró una clara división de las

dimensiones en dos grupos ‘dominios fuertes’ y ‘dominio débil’. El dominio fuerte engloba los recursos naturales y energéticos, el transporte y la movilidad y los edificios. Mientras que el dominio débil contiene los dominios cuyo apoyo a la tecnología es débil, como “Vida Inteligente”, “Economía Inteligente” y “Gobierno Inteligente”. Los estudios estadísticos mostraron que las ciudades que invierten más en el ‘dominio fuerte’ tienen menos probabilidad de invertir también en el ‘dominio débil’ y viceversa, y el porcentaje de ciudades que apuesta por inversiones en proyectos que pertenecen al ‘dominio fuerte’ es mucho mayor (Tabla 17). Aproximadamente dos tercios de las ciudades analizadas apoyan más proyectos en el campos de las energías renovables y la mitad en sistemas de movilidad, lo que representa aquellas áreas donde la tecnología es mucho más desarrollada.

Tabla 17. Factores que explican los índices de cobertura de una ciudad inteligente [42].

Table 4
Factors explaining SC coverage indices.

Factor	Domains	Mean	SD	Loading F1	Loading F2
F1. "Hard" domains	Natural resources and energy	0.309	0.215	0.688	-0.068
	Transport and mobility	0.381	0.296	0.463	-0.308
	Buildings	0.214	0.266	0.756	0.254
F2. "Soft" domains	Living	0.191	0.157	-0.154	0.697
	Government	0.089	0.186	-0.522	0.307
	Economy and people	0.211	0.243	0.033	0.827
	% of variance explained	n.a.		30.5%	22.7%
Kaiser-Meyer-Olkin measure of sampling					0.768

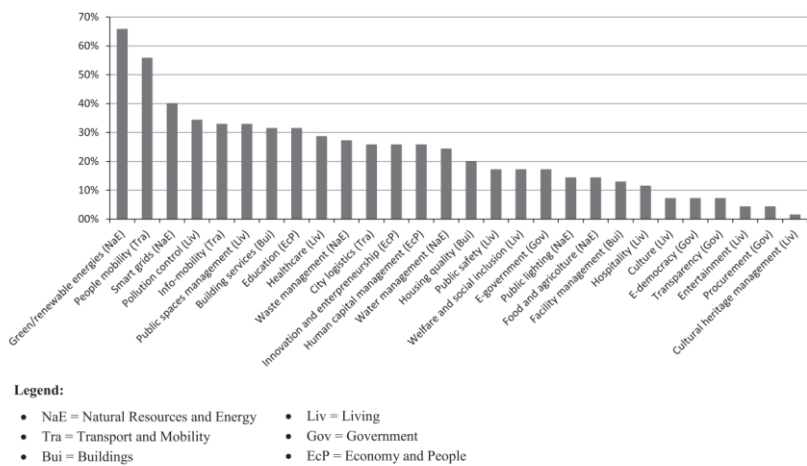


Fig. 2. Coverage Index by sub-domains.

Los análisis de ANOVA han mostrado diferencias significativas entre los diferentes continentes en relación con los índices IC para los diferentes ámbitos (Transporte y movilidad, gobernanza, economía y gente). Por ejemplo, las ciudades asiáticas han mostrado una mayor inversión en los ámbitos del dominio fuerte como en transporte y

movilidad, mientras que el IC es mucho menor en los ámbitos del dominio débil como en gobernanza, economía y gente [67]–[70], esto es debido a que países como China, India, Taiwán, Singapur o Corea, han encarado una serie de problemas en las últimas décadas que favorecen las inversiones en campos como la contaminación, que ha aumentado en los últimos años y el desarrollo económico que ha sido crítico para ciudades de gran tamaño para poder reducir la congestión y reducir la contaminación mediante la inversión en infraestructuras físicas. Por otro lado, las ciudades europeas han enfatizado más en los ámbitos del dominio débil, esto se refleja en las políticas de la UE que apoyan la inversión en I+D, educación y en capital humano como consecuencia de la Agenda de Lisboa. Finalmente, Norteamérica y Sudamérica presentan menor IC en la mayoría de los seis dominios (Figura 28).

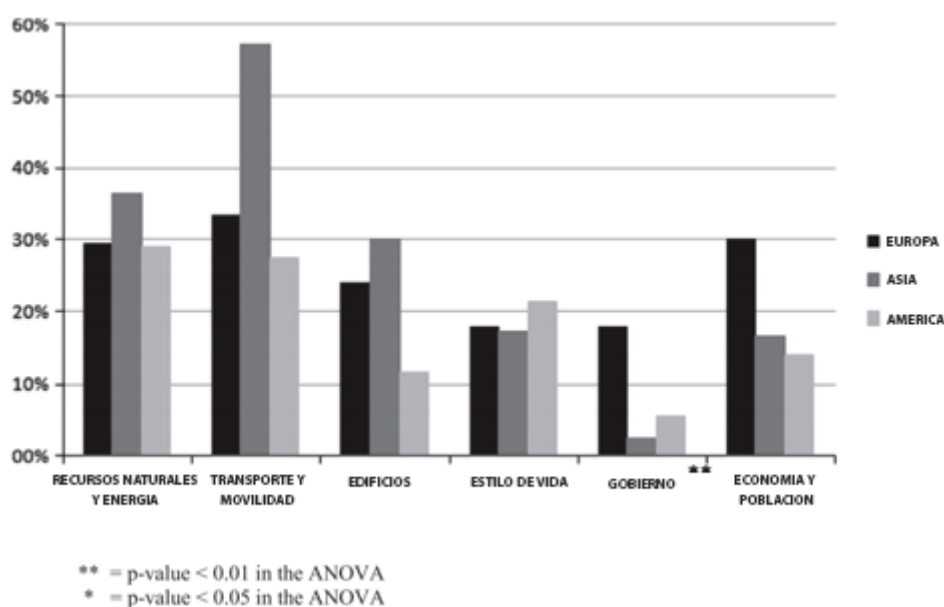


Figura 28. Índice de cobertura por región [42].

Los factores estructurales, como el tamaño de la ciudad no son significativos, sin embargo, la densidad demográfica mostró un efecto positivo en el dominio fuerte como transporte y movilidad y edificios. Esto es debido a que las aglomeraciones de gente en los grandes núcleos urbanos tienen mayores necesidades como mayores infraestructuras para reducir la congestión en el transporte y el uso de la energía en los edificios. En

cuanto a las variables medioambientales, se ha demostrado que factores como la contaminación reducen la intención de un municipio de llevar a cabo iniciativas en los ámbitos del dominio fuerte (en particular al transporte y a la movilidad), esto puede deberse a que las ciudades más contaminantes se encuentran en países en vías de desarrollo en los que el concepto de ciudad inteligente todavía no está establecido por completo y los recursos para inversión en nuevas infraestructuras son muy reducidos.

En lo que respecta a las variables económicas y tecnológicas, los países con un PIB per cápita más alto son más activos en el dominio fuerte, pero menos activos en proyectos relacionados a la mejora de capital humano que las ciudades con un menor desarrollo económico. También, las ciudades que utilizan más servicios de internet entre sus habitantes son más activas en los campos de “Gobierno Inteligente” y “Economía Inteligente”. Esto indica la importancia de las telecomunicaciones y del capital humano en las iniciativas de e-government y e-democracy basadas en incrementar la transparencia.

Por lo tanto, las ciudades con gran densidad demográfica, con mayor PIB y economías desarrolladas, así como políticas de gobierno transparentes y centralizadas tienen más tendencia a invertir en los ámbitos pertenecientes al dominio fuerte como en “Movilidad Inteligente”, “Vida Inteligente” y “Entorno Inteligente”. Por esto, estas ciudades tienen gran potencial para poder invertir en futuros proyectos de mantenimiento predictivo en “Edificios Inteligentes” [42].

6.5. EJEMPLO DE PROYECTO REAL CON POTENCIAL DE APLICACIÓN DEL SISTEMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO A GRAN ESCALA.

Un sistema de mantenimiento predictivo es aplicable a cualquier instalación de transporte vertical. Sin embargo, es en aquellas ciudades donde el uso de las tecnologías de la información es emergente donde encontramos grandes potenciales de aplicación de este sistema.

Entre muchos proyectos europeos. Encontramos el distrito inteligente de Kalasatama situado en Helsinki, Finlandia.

Se trata de un proyecto aun en desarrollo que espera ser terminado en el año 2030 para alojar 20000 viviendas y ofrecer 8000 puestos de trabajo. Actualmente ya viven 3000 personas entre sus viviendas.



Figura 29. Distrito de Kalasatama.

El objetivo de este proyecto urbano es el de ofrecer a sus residentes viviendas inteligentes en un emplazamiento inteligente que ahorre una hora al día en las rutinas diarias de sus usuarios mediante servicios locales inteligentes, recursos y eficiencia. Es un ejemplo de desarrollo del IoT y del uso de las tecnologías de la información y la comunicación en su máximo exponente.

Este distrito comprende más de 20 proyectos relacionados con “Movilidad Inteligente”, eficiencia energética, “Vida Inteligente”, “Economía Inteligente” y aprendizaje.

La eficiencia energética es el corazón de este proyecto. Todos los edificios están conectados una red inteligente de energía. Un caso práctico de esta red inteligente es que cada residente es capaz de controlar remotamente las luces o aparatos electrónicos de sus hogares. El sistema monitorea en tiempo real el uso de electricidad y agua para optimizar el consumo. Esto también ayuda a reducir las emisiones de CO₂, fomenta las buenas prácticas y promueve el uso de nuevas tecnologías.



Figura 30. Ejemplo de la gestión de la energía en el distrito de Kalasatama.

Los edificios utilizan paneles solares para producir energía renovable que permite almacenar energía y liberarla para su uso en momentos de alto consumo además de alimentar cargadores para vehículos eléctricos.

En cuanto a “Movilidad Inteligente”, se está desarrollando una solución que ofrece a sus usuarios un plan integral y óptimo de desplazamiento que incluye transporte público,

taxis, servicios de intercambio de vehículos, bicicletas y vehículos propios. El pasajero paga por todos los medios de transporte en una única plataforma y un solo ticket de ruta. También se está instalando una completa red de transporte público con conexiones en todas direcciones con múltiples redes de autobús y tranvía conectados con la estación central.

Viendo todas estas iniciativas y su objetivo de ahorrar a sus ciudadanos una hora al día mediante movilidad más eficiente, nos resulta muy fácil encuadrar la instalación de sistemas de mantenimiento predictivo en cualquier emplazamiento con equipos de transporte vertical dentro de este distrito.

Teniendo en cuenta que el uso de este sistema permite optimizar el uso de los ascensores reduciendo los tiempos de espera y parada, se puede garantizar que ningún usuario empleara más tiempo del estrictamente necesario utilizando estos sistemas lo que contribuye de forma notoria al objetivo principal de diseño de este proyecto.

Además, si los usuarios de las viviendas son capaces de monitorear distintos parámetros relativos a sus hogares como el consumo de luz y energía en tiempo real, los gestores de edificios deberían ser capaces de monitorear también parámetros relativos a las instalaciones de estos para garantizar el correcto funcionamiento y gestión de los sistemas, una característica de este sistema de mantenimiento que ya hemos comentado en anteriores apartados.

7. CONCLUSIONES.

Como hemos desarrollado durante este trabajo, un sistema de mantenimiento predictivo supone una evolución del mantenimiento actual de sistemas gracias al avance de la tecnología y telecomunicaciones que se está produciendo en la última década. En la actualidad, aquellos sistemas o servicios que se benefician de las tecnologías IoT son los considerados «inteligentes» y es hacia a ese término, donde la sociedad actual está moviéndose y evolucionando para poder llevar a cabo un desarrollo sostenible en el tiempo que implique un uso eficiente de los recursos disponibles. Todos estos conceptos se unifican y engloban bajo el término «Ciudades Inteligentes» que se sustentan en los seis pilares básicos vistos. Tal y como hemos analizado, el sistema predictivo de mantenimiento aplicado a ascensores impacta directamente en tres pilares básicos de una ciudad inteligente.

El primero, «Entornos Inteligentes». Dentro de este pilar emplazamos los «Edificios Inteligentes» que son el principal objetivo de aplicación del sistema de mantenimiento predictivo. Como hemos visto, la instalación de un sistema de mantenimiento predictivo en el equipo de transporte vertical de un edificio de viviendas conlleva una serie de ventajas que hemos enumerado durante este trabajo como la reducción de tiempos de parada del ascensor por fallo o mantenimiento y que impacta directamente en el confort de los usuarios, así como en la seguridad y gestión del edificio inteligente. La instalación de este sistema en emplazamientos públicos impacta con las mismas ventajas en el pilar de «Movilidad Inteligente» permitiendo a los usuarios de oficinas o lugares públicos gestionar de forma más eficiente su tiempo y proporcionando un incremento de seguridad en el uso de dichas instalaciones.

Como hemos estudiado, la instalación de estos sistemas aumenta directamente el grado de inteligencia de un edificio aportando valor a las dimensiones de seguridad, funcionalidad y mejora en el coste de gestión y mantenimiento del mismo, siendo estas, características necesarias de mejorar para los gestores y constructores de edificios en la transición a un “Edificio Inteligente”.

Estas mejoras que aporta el sistema de mantenimiento predictivo permite aumentar el valor del edificio donde se implanta siendo este un objetivo para cualquier propietario de inmuebles.

Por último, también obtenemos un impacto positivo en el tercer pilar de una ciudad inteligente denominado «Economía Inteligente» donde con este sistema, obtenemos una mejora en el coste de gestión de las mencionadas instalaciones reduciendo el número de reparaciones, reemplazo de piezas e inventario de componentes lo que permite a los administradores de edificios gestionar de forma más eficiente sus recursos económicos.

Sin duda, se trata de un sistema muy beneficioso para todas las partes implicadas en la instalación de un ascensor pero que quizás, debido a su elevado coste no resultaba interesante. Sin embargo, hoy en día, gracias a la evolución de los microprocesadores y tecnologías IoT, estos sistemas se han abaratado lo suficiente como para resultar interesante y rentable. Además, los principales gobiernos actuales están apostando por un futuro inteligente y sostenible, por lo que numerosos programas de apoyo recogidos en este proyecto ayudan a la orientación e implantación de este tipo de tecnologías en diferentes proyectos.

BIBLIOGRAFÍA:

- [1] J. Cleland, “World Population Growth; Past, Present and Future,” *Environ. Resour. Econ.*, vol. 55, no. 4, pp. 543–554, Aug. 2013.
- [2] United Nations, *World Population Prospects: The 2010 Revision, Volume I - Comprehensive Tables*. UN, 2012.
- [3] William D. McElroy, *The Growth of World Population: Analysis of the Problems and Recommendations for Research and Training*, Publication 1091. Washington DC: National Academy of Sciences, 1963.
- [4] M.-L. Marsal-Llacuna, J. Colomer-Llinàs, and J. Meléndez-Frigola, “Lessons in urban monitoring taken from sustainable and livable cities to better address the Smart Cities initiative,” *Technol. Forecast. Soc. Change*, vol. 90, pp. 611–622, Jan. 2015.
- [5] R. K. Mobley, *An introduction to predictive maintenance*, 2nd ed. Amsterdam ; New York: Butterworth-Heinemann, 2002.
- [6] J. Thangaraj and R. Lakshmi Narayanan, “INDUSTRY 1.0 TO 4.0: THE EVOLUTION OF SMART FACTORIES,” Oct. 2018.
- [7] O. F. Beyca, G. Hancerliogullari, and I. Yazici, “Additive Manufacturing Technologies and Applications,” in *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation*, A. Ustundag and E. Cevikcan, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2018, pp. 217–234.
- [8] J. Nagy, J. Oláh, E. Erdei, D. Máté, and J. Popp, “The Role and Impact of Industry 4.0 and the Internet of Things on the Business Strategy of the Value Chain—The Case of Hungary,” *Sustainability*, vol. 10, no. 10, pp. 1–25, 2018.
- [9] M. Hermann, T. Pentek, and B. Otto, “Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios,” in *2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, 2016, pp. 3928–3937.
- [10] V. Albino, U. Berardi, and R. Dangelico, “Smart Cities: Definitions, Dimensions, Performance, and Initiatives,” *J. Urban Technol.*, vol. 22, p. 2015, Feb. 2015.
- [11] H. Ahvenniemi, A. Huovila, I. Pinto-Seppä, and M. Airaksinen, “What are the

- differences between sustainable and smart cities?,” *Cities*, vol. 60, pp. 234–245, Feb. 2017.
- [12] M. Angelidou, “Smart city policies: A spatial approach,” *Cities*, vol. 41, pp. S3–S11, Jul. 2014.
- [13] N. Bedford, W. Hutchison, and S. Bedford, “Ukraine’s global strategy in the post-crisis economy: developing an intelligent nation to achieve a competitive advantage,” *Innov. Mark.*, vol. 7, no. 1, p. 8, 2011.
- [14] R. Giffinger, C. Fertner, H. Kramar, and E. Meijers, “City-ranking of European medium-sized cities,” *Cent Reg Sci*, pp. 1–12, Jan. 2007.
- [15] F. P. Appio, M. Lima, and S. Paroutis, “Understanding Smart Cities: Innovation ecosystems, technological advancements, and societal challenges,” *Technol. Forecast. Soc. Change*, vol. 142, pp. 1–14, May 2019.
- [16] Z. Mahmood, *Smart Cities: Development and Governance Frameworks*. Springer, 2018.
- [17] R. Kitchin, “The Real-Time City? Big Data and Smart Urbanism,” 2014.
- [18] L. R. Suzuki, “Smart Cities IoT: Enablers and Technology Road Map,” in *Smart City Networks: Through the Internet of Things*, S. Th. Rassia and P. M. Pardalos, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2017, pp. 167–190.
- [19] M. S. Jamil, M. A. Jamil, A. Mazhar, A. Ikram, A. Ahmed, and U. Munawar, “Smart Environment Monitoring System by Employing Wireless Sensor Networks on Vehicles for Pollution Free Smart Cities,” *Procedia Eng.*, vol. 107, pp. 480–484, Jan. 2015.
- [20] G. Koutitas, “The Smart Grid: Anchor of the Smart City,” in *Smart Cities: Applications, Technologies, Standards, and Driving Factors*, S. McClellan, J. A. Jimenez, and G. Koutitas, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2018, pp. 53–74.
- [21] S. Zygiaris, “Smart City Reference Model: Assisting Planners to Conceptualize the Building of Smart City Innovation Ecosystems,” *J. Knowl. Econ.*, vol. 4, no. 2, pp. 217–231, Jun. 2013.
- [22] *The Rise of the Creative Class--Revisited*. 2017.
- [23] European Innovation Partnership (EIP), “European Innovation Partnership (EIP),

2013. Smart cities and communities: operational implementation plan.,” 2013.
- [24] H. Chourabi *et al.*, “Understanding Smart Cities: An Integrative Framework,” in *2012 45th Hawaii International Conference on System Sciences*, 2012, pp. 2289–2297.
- [25] R. M. Ryan and E. L. Deci, “Self-Determination Theory and the Facilitation of Intrinsic Motivation, Social Development, and Well-Being,” *Am. Psychol.*, p. 11, 2000.
- [26] A. Gurría, ““ By underscoring the role of statistics in shaping action, we have driven a re-orientation of policies to look “beyond GDP” to focus on the many aspects of well-being that matter in ’ people’s lives.” p. 12.
- [27] P. O. of the E. Union, “The EU and energy union and climate action.” 20-Mar-2017. [Online]. Available: <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/cd6f7e79-094c-11e7-8a35-01aa75ed71a1/language-en>. [Accessed: 15-May-2019].
- [28] European Comission, “THE JUNCKER COMMISSION DELIVERS ON ITS ENERGY UNION PRIORITY.” Apr-2019.
- [29] “Urban development.” [Online]. Available: https://ec.europa.eu/regional_policy/en/policy/themes/urban-development/. [Accessed: 15-May-2019].
- [30] European Comission, “LA DIRECTIVA RELATIVA A LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS EDIFICIOS.” European Comission, 2019.
- [31] Adrian Joyce, “THE IMPLEMENTATION OF THE AMENDED ENERGY PERFORMANCE OF BUILDINGS DIRECTIVE (EPBD) 2018.” EUROACE, 2018.
- [32] “Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings,” p. 23.
- [33] “Energy performance of buildings,” *Energy - European Commission*, 31-Jul-2014. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/energy-performance-of-buildings>. [Accessed: 10-Jun-2019].
- [34] “Strategic Energy Technology Plan,” *Energy - European Commission*, 16-Jul-2014. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/technology-and-innovation/strategic-energy-technology-plan>. [Accessed: 15-May-2019].
- [35] “Home | Smartcities Information System.” [Online]. Available: <https://www.smartcities-infosystem.eu/>. [Accessed: 15-May-2019].

- [36] “NEXT-BUILDINGS | Smartcities Information System.” [Online]. Available: <https://www.smartcities-infosystem.eu/sites-projects/projects/next-buildings>. [Accessed: 15-May-2019].
- [37] “BUILDSMART | Smartcities Information System.” [Online]. Available: <https://www.smartcities-infosystem.eu/sites-projects/projects/buildsmart>. [Accessed: 15-May-2019].
- [38] “mySMARTLife Nantes | Smartcities Information System.” [Online]. Available: <https://www.smartcities-infosystem.eu/scis-projects/demo-sites/mysmartlife-nantes>. [Accessed: 15-May-2019].
- [39] “Umbrella Project.” [Online]. Available: <http://www.e-umbrella.eu/>. [Accessed: 15-May-2019].
- [40] N. B. Aletà, C. M. Alonso, and R. M. A. Ruiz, “Smart Mobility and Smart Environment in the Spanish cities,” *Transp. Res. Procedia*, vol. 24, pp. 163–170, 2017.
- [41] A. Mahizhnan, “Smart cities,” *Cities*, vol. 16, no. 1, pp. 13–18.
- [42] P. Neirotti, A. De Marco, A. C. Cagliano, G. Mangano, and F. Scorrano, “Current trends in Smart City initiatives: Some stylised facts,” *Cities*, vol. 38, pp. 25–36, Jun. 2014.
- [43] Janez Potocnik, “Towards the circular economy.” Ellen MacArthur Foundation, 2013.
- [44] I. S. K. Hub, “WEF Launches Public-Private Platform on Circular Economy | News | SDG Knowledge Hub | IISD.”.
- [45] M. Geissdoerfer, S. N. Morioka, M. M. de Carvalho, and S. Evans, “Business models and supply chains for the circular economy,” *J. Clean. Prod.*, vol. 190, pp. 712–721, Jul. 2018.
- [46] ENEL, “Cities of tomorrow.” ENEL, 2018.
- [47] Maarten De Groote, Jonathan Volt, and Frances Bean, “Smart Buildings Decoded.” BPIE, 2017.
- [48] “What is a Smart Building? | Building Efficiency Initiative | WRI Ross Center for Sustainable Cities.” [Online]. Available: <https://buildingefficiencyinitiative.org/articles/what-smart-building>. [Accessed: 10-Jun-2019].
- [49] “Energy Information Administration (EIA)- Commercial Buildings Energy

- Consumption Survey (CBECS) Data.” [Online]. Available: <https://www.eia.gov/consumption/commercial/data/2012/>. [Accessed: 10-Jun-2019].
- [50] J. King, “Smart Buildings: Using Smart Technology to Save Energy in Existing Buildings,” *SMART Build.*, p. 55.
- [51] Microsoft, “88 Acres. How Microsoft Quietly Built the City of the Future.” 2013.
- [52] “Smart transportation: A key building block for a smart city | Forbes India Blog,” *Forbes India*. [Online]. Available: <http://www.forbesindia.com/blog/infrastructure/smart-transportation-a-key-building-block-for-a-smart-city/>. [Accessed: 10-Jun-2019].
- [53] C. I. of B. S. Engineers, *CIBSE guide. D, Transportation systems in buildings*, 6th ed. London: Chartered Institution of Building Services Engineers, 1993.
- [54] A. T. So and W. L. Chan, “Vertical Transportation Systems,” in *Intelligent Building Systems*, A. T. So and W. L. Chan, Eds. Boston, MA: Springer US, 1999, pp. 27–34.
- [55] So AT and Lui SK, “An overall review of advanced elevator technologies,” *Elev World*, vol. 44, no. 96e, p. 103, 1996.
- [56] O. Kwon, E. Lee, and H. Bahn, “Sensor-aware elevator scheduling for smart building environments,” *Build. Environ.*, vol. 72, pp. 332–342, Feb. 2014.
- [57] K. Wang, G. Dai, and L. Guo, “Intelligent Predictive Maintenance (IPdM) for Elevator Service,” p. 6.
- [58] G. P. Sullivan, R. Pugh, A. P. Melendez, and W. D. Hunt, “Operations and Maintenance: Best Practices,” in *A guide to Achieving Operational Efficiency*, U.S. Department of Energy., 2010.
- [59] C. Scheffer and P. Girdhar, *Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance*. Elsevier, 2004.
- [60] “Normativa sobre vibraciones.” Departamento de ingeniería mecánica, energía UNIVERSIDAD DE NAVARRA.
- [61] “A basic guide to Thermography,” p. 14.
- [62] “Using ‘Unscheduled’ Oil Analysis for Early Predictive Maintenance.” [Online]. Available: </Read/29398/unscheduled-oil-analysis>. [Accessed: 10-Jun-2019].
- [63] V. Zarikas and N. Tursynbek, “Intelligent Elevators in a Smart Building,” 2017.

- [64] IBM, “Smarter Buildings Survey. Consumers Rank Their Office Buildings.” 29-Apr-2010.
- [65] “Accident Statistics 2016.” Lift and escalator industry association, 2016.
- [66] D. Arditi, G. Mangano, and A. De Marco, “Assessing the smartness of buildings,” *Facilities*, vol. 33, pp. 553–572, Jul. 2015.
- [67] B. Dahiya, “Cities in Asia, 2012: Demographics, economics, poverty, environment and governance,” *Cities*, vol. 29, pp. S44–S61, Dec. 2012.
- [68] M. K. Ng and P. Hills, “World cities or great cities? A comparative study of five Asian metropolises,” *Cities*, vol. 20, no. 3, pp. 151–165, Jun. 2003.
- [69] M. Thynell, D. Mohan, and G. Tiwari, “Sustainable transport and the modernisation of urban transport in Delhi and Stockholm,” *Cities*, vol. 27, no. 6, pp. 421–429, Dec. 2010.
- [70] K.-W. Tsou and H.-T. Cheng, “The effect of multiple urban network structures on retail patterns – A case study in Taipei, Taiwan,” *Cities*, vol. 32, pp. 13–23, Jun. 2013.
- [71] “How much does elevator maintenance, repair or modernization cost?” [Online]. Available: <https://coloradoelevatorsolutions.com/elevator-maintenance-repair-or-modernization-cost/>. [Accessed: 16-Jun-2019].